



Ministerio
de Ambiente



Uruguay
Presidencia



Financiado por
la Unión Europea

Proyecto de Evacuación
implementado por



IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN LA ZONA COSTERA DE URUGUAY EN EL MARCO DEL NAP COSTAS

CONTRATACIÓN DE EMPRESA CONSULTORA PARA EL
DISEÑO DE LAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN DEL
PROYECTO

PLAYA DEL CERRO - PLAYA KIYÚ

ISTEC - **dica**
INGENIERÍA & asociados

IMPLEMENTACIÓN DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN EN LA ZONA COSTERA DE URUGUAY EN EL MARCO DEL NAP COSTAS

PRODUCTO 2: INFORME DE PROPUESTAS DE EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PLAYA DEL CERRO – MONTEVIDEO

MAYO 2024

RESUMEN EJECUTIVO.....	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. PUNTOS ESTRATÉGICOS DE SAN JOSÉ Y MONTEVIDEO.....	5
2.1. Playa del Cerro, Montevideo.....	5
3. MARCO LEGISLATIVO DE GESTIÓN TERRITORIAL	7
3.1. Legislación nacional.....	7
3.1.1. Ley Marco del Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible - Ley N°18308/2008 y sus modificativas	7
3.1.2. Ley General de Protección del Medio Ambiente - Ley N° 17283/2000.....	8
3.1.3. Ley del Interés General de Protección del Medio Ambiente contra cualquier tipo de depredación, destrucción o contaminación - Ley N°16466/1994	8
3.1.4. Código de Aguas - Decreto-Ley N°14859/1978 y sus modificativas.....	9
3.1.5. Ley de Centros Poblados - Ley N°10723/1946, Ley N°10866/1946 y sus modificativas.....	9
3.2. Instrumentos de ordenamiento territorial nacionales.....	10
3.2.1. Directriz Nacional de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible del Espacio Costero del Océano Atlántico y del Río de la Plata - Ley N°19722/2019	10
3.2.2. Directrices Nacionales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible - Ley N°19525/2017.....	11
3.3. Instrumentos de ordenamiento territorial regionales.....	11
3.3.1. Estrategias Regionales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible Metropolitanas (EROT-M) - Decreto N°26/2011 (Canelones), Decreto N°33830/2011 (Montevideo), Decreto N°3065/2011(San José), Decreto N°321/011 (Poder Ejecutivo) CANELONES, MONTEVIDE, SAN JOSÉ	11
3.4. Instrumentos de ordenamiento territorial departamentales (Montevideo)	12
3.4.1. Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible -Decretos N°34870/2013, N°38471/2013 y N°34889/2013.....	12

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Marzo 2024

3.4.2. Plan de Ordenamiento Territorial - Decreto N°28.242/1998 y sus modificativos	13
4. PLAYA DEL CERRO, MONTEVIDEO.....	15
4.1. Reconocimiento del ámbito territorial de trabajo	15
4.2. Recopilación y estudio de algún antecedente con incidencia en la condición de la costa 16	
4.2.1. Dinámicas territoriales	16
4.2.2. Catastro, propiedad	16
4.2.3. Infraestructuras y servicios urbanos.....	17
4.2.4. Ocupación de suelo	18
4.2.5. Usos y temporalidad	19
4.2.6. Sociedad local y población flotante	19
4.2.7. Patrimonio natural, cultural	20
4.2.8. Marco legal de ordenamiento territorial	20
4.3. Visita al sitio.....	21
4.4. Viento y clima marítimo.....	23
4.4.1. Datos utilizados	23
4.4.2. Viento	23
4.4.3. Nivel de mar	26
4.4.4. Oleaje	27
4.4.4.1. Propagación al sitio.....	27
4.4.5. Caracterización estadística del clima marítimo	30
4.4.5.1. Régimen medio de viento	30
4.4.5.2. Régimen medio y extremo de nivel de mar	30
4.4.5.3. Régimen medio y extremo de oleaje	32

4.4.5.4. Régimen conjunto de altura de ola significativa y nivel de mar	34
4.4.5.5. Régimen extremo de nivel de mar en playa	34
4.5. Evolución histórica de la línea de costa	36
4.5.1. Datos utilizados	36
4.5.2. Análisis de las fotos aéreas	36
4.5.3. Análisis de las imágenes satelitales	38
4.5.4. Análisis y consideraciones respecto a la rotación de la playa	44
4.5.4.1. Evolución histórica de la rotación en playa del Cerro y otras playas cercanas	44
4.5.4.2. Relación entre la rotación de la playa del Cerro y los dragados realizados para la terminal regasificadora	48
4.5.4.3. Relación entre la rotación de la playa del Cerro y el clima de olas	49
4.5.4.4. Respecto a la ola generada por el tránsito del ferry de la empresa Buquebus	50
4.6. Estimación de la variabilidad a corto plazo	51
4.6.1. Ciclo medio anual	51
4.6.2. Retroceso por efecto de tormentas extremas	52
4.7. Transporte de sedimentos	57
4.8. Resumen de situación actual (línea base)	59
4.9. Proyección de evolución de la línea de costa	61
4.9.1. Proyección del retroceso por aumento del nivel medio del mar	63
4.10. Diagnóstico de amenazas de inundación costera y erosión de playas	66
4.10.1. Amenaza por inundación costera	66
4.10.2. Amenaza por erosión de playas	67
4.10.3. Conclusiones	70
4.11. Drenaje pluvial	71
4.11.1. Identificación infraestructura de descarga a la costa	71

4.11.2. Caracterización y trazado de cuencas	71
4.11.3. Estudio hidrológico de cuencas	77
4.11.4. Análisis de erosión en accesos costeros.....	79
4.12. Propuesta de alterativas	83
4.12.1. Consideraciones preliminares.....	88
4.12.2. Alternativas de actuación consideradas	88
4.12.2.1.No hacer nada	88
4.12.2.2.Medidas tendientes a entender el sistema.....	89
4.12.2.3.Retiro controlado	89
4.12.2.4.Intervenciones limitadas y NbS de pequeña escala	89
4.12.2.5.Protoger la línea de costa	90
4.12.2.6.Avanzar la línea de costa.....	91
4.12.1. Aspectos ecosistémicos.....	92
4.12.2. Descargas pluviales.....	94
4.12.2.1.Trasvase de cuenca.....	95
4.12.3. Aspectos urbanos y sociales.....	97
4.12.3.1.Playa del Cerro Este	98
4.12.3.2.Sector rocoso intermedio	98
4.12.3.3.Playa del Cerro Oeste.....	99
4.12.4. Consideraciones generales a nivel de ordenamiento territorial	101
4.12.4.1.Modelo territorial	101
4.12.4.2.Zonificación	102
4.12.4.3.Parámetros de ocupación de suelo.....	104
4.12.4.4.Normas para la edificación.....	105
4.12.5. Aspectos económicos	106

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP
Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Marzo 2024

4.13. Anteproyecto.....	107
4.13.1. Consideraciones generales.....	107
4.13.2. Estudio de detalle para identificar las causas de la rotación de la playa	109
4.13.3. Relleno y estabilización del tramo este de la playa	110
4.13.4. Cercas captoras.....	110
4.13.5. Bosque costero nativo	118
4.13.6. Humedales costeros para sistemas de drenaje sostenible.....	119
4.13.7. Accesos a la playa	121
4.13.7.1. Accesibilidad al acceso de la playa	122
4.13.7.2. Acceso de la playa.....	123
4.13.8. Pasto existente en zona interdunar y playa.....	124
4.13.9. Acondicionamiento de descargas pluviales.....	126
4.13.9.1. Descarga 4 (Tramo Oeste)	126
4.13.9.2. Descarga 5: Cañada Pichuaga (Tramo Oeste)	131
4.13.9.3. Acceso Oeste	133
4.13.10. Plan de monitoreo y seguimiento (intervención de segunda etapa)	135
4.13.10.1. Perfiles de playa	135
4.13.10.2. Granulometría de arena.....	136
4.13.10.3. Fotografías aéreas.....	136
4.13.10.4. Oleaje y nivel de mar	136
4.13.11. Aspectos económicos	137
4.13.12. Evolución temporal	138
4.13.13. Aspectos ambientales.....	139
4.13.14. Recomendaciones para proyecto ejecutivo.....	141
4.13.14.1. Perspectiva de género a considerar en proyecto ejecutivo	141

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP
Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Marzo 2024

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP
Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Marzo 2024

RESUMEN EJECUTIVO

En el presente informe se realiza un diagnóstico acerca de los diversos procesos que actúan sobre la franja de costa de la Playa del Cerro, en su situación actual y su evolución esperada para los próximos años tomando en consideración el impacto del cambio climático.

Durante el proceso de diagnóstico analizando la situación actual, se observa que en los últimos años la playa ha rotado, perdiendo arena de su tramo Este para acumularla en el tramo Oeste. En este sentido, se identifica que no hay una pérdida de arena del sistema sino una redistribución de la arena disponible. Debido a esta rotación se pierde valor recreativo del tramo Este por afloración de rocas. En base a la información disponible al momento de este estudio, no ha sido posible identificar el origen directo de esta rotación.

A su vez, se estudia los efectos del aumento del nivel medio del mar debido al cambio climático, analizando en particular dos escenarios: horizonte al año 2050 con un aumento de nivel medio del mar de 20cm y un horizonte al año 2075 con un aumento de nivel medio del mar de 40cm.

En cuanto a niveles de mar en playa, se observa que los mismos no alcanzan la infraestructura ubicada en torno a la playa (viviendas, rambla, estacionamientos) tanto para la situación actual como para los escenarios futuros, considerando los eventos extremos de nivel de mar de 10, 100 y 500 años.

Por otra parte, se analizó la erosión de playas durante eventos de tormenta. Se observa que el ancho de la playa es tal que los eventos extremos de erosión no alcanzan a amenazar la rambla o los estacionamientos, tanto para el escenario actual como futuro considerando el aumento del nivel de mar producto del efecto del cambio climático. Sin embargo, las viviendas ubicadas al sur de la rambla podrían estar amenazadas por los eventos extremos de erosión y por el run up del oleaje.

Adicionalmente, se identifican dos descargas pluviales de dimensiones importantes que descargan en la zona de estudio, los ecosistemas predominantes y los accesos existentes en la zona de estudio.

Para mitigar las problemáticas identificadas durante el diagnóstico, se proponen distintas medidas divididas en dos etapas de actuación. Se destaca que la intervención de primera

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP
Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

etapa se diseña a nivel de anteproyecto, mientras que la de segunda etapa a nivel de diseño conceptual.

1era etapa de actuación

Se propone el estudio detallado del fenómeno de rotación, con el objetivo de comprender el sistema y el origen de dicho proceso. Este estudio incluye campañas de medición que permitan calibrar y validar los modelos utilizados.

Se recomienda la relocalización de las viviendas al sur de la calle Suiza, debido a que es la única infraestructura que posee cierto nivel de amenaza.

A su vez, en esta etapa se plantea la intervención en las dos descargas pluviales más importantes de la zona de estudio, generando en un caso la amortiguación de las pluviales y en el otro la reconducción de la descarga. La función de ambas medidas es mejorar las condiciones aguas abajo de las mismas.

Se plantean captaciones, cunetas y conducciones enterradas en la zona del acceso nuevo ubicado al oeste del tramo, para atender problemas de erosión locales.

Se proyecta una serie de medidas de adaptación basada en ecosistemas, entre estas medidas se destaca la restauración dunar utilizando cercas captoras, la reforestación del bosque costero nativo y el fortalecimiento de humedales interdunares.

Finalmente, se realizan nuevos accesos a la playa y un sendero de interpretación.

2da etapa de actuación

En función del análisis de la información recabada en la primera etapa, se deberá tomar la decisión de ejecutar o no la segunda etapa de actuación. La misma consiste en realizar un relleno de arena en el tramo Este (100m) de la playa, así como en una zona de aproximadamente 50m del tramo Oeste. Con dicho relleno se busca mejorar la calidad de la playa para su uso recreativo, evitando las afloraciones de roca. Adicionalmente y de identificarse como necesario se realiza un espigón en la playa Este que contenga los sedimentos del relleno.

1. INTRODUCCIÓN

El ritmo acelerado del cambio climático a nivel global y sus consecuencias, es una problemática a la que debe hacer frente y dar respuesta las políticas públicas. En este sentido, se creó el Plan Nacional de Adaptación para la zona costera de Uruguay (NAP Costas) en el año 2020, a cargo del Ministerio de Ambiente, en el marco del Sistema Nacional de Respuesta al Cambio Climático (SNRCC).

Los problemas producto del cambio y variabilidad climática, afectan a la población en su totalidad, desde los territorios que habitan, los ecosistemas que los rodean, hasta las infraestructuras que los sirven, siendo de suma importancia poder lograr la adaptación de los territorios y mitigación de las consecuencias.

El presente trabajo se enmarca en el Proyecto “Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco de NAP Costas”, y tiene como objetivo el diseño a nivel de anteproyecto de las medidas de adaptación del proyecto para dos sitios estratégicos escogidos como pilotos por parte del Ministerio de Ambiente y del equipo de trabajo encargado del llamado. Los puntos seleccionados como piloto en este contrato de consultoría son la playa de Kiyú, en el departamento de San José y la playa del Cerro, en el departamento de Montevideo. Las dos playas seleccionadas como áreas de estudio e intervención tienen comportamientos bien diferenciados naturalmente determinados por su ubicación

El trabajo se realiza en varias etapas: estudios básicos y análisis de antecedentes, generación de alternativas, comparación y selección de alternativas, y realización del anteproyecto de la alternativa que sea elegida para cada caso de estudio.

El presente informe, correspondiente al **Producto 2- “Playa del Cerro”**, incluye la generación de una línea de base, el estudio de la dinámica de la línea de costa para ese tramo de playa y la propuesta de alternativas para mitigar la erosión costera tomando en cuenta los aspectos relacionados con el cambio climático.

Para ello, se evalúan los antecedentes, se cuantifica la evolución histórica de la línea de costa mediante fotos aéreas y satelitales, se determina el régimen medio y extremo de los agentes marítimos (oleaje y nivel de mar), se caracteriza la dinámica de transporte de sedimentos y se modela la evolución de la línea de costa a distintas escalas temporales con el fin de

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

comprender la dinámica histórica de la línea de costa de cada sitio y para poder evaluar la respuesta del sistema ante los efectos del cambio climático y ante las alternativas que se propongan como solución.

Por otra parte, también se realiza el estudio del drenaje pluvial del sitio piloto, identificando la infraestructura de descarga a la costa, sus cuencas de aportes y estimación de caudales, de manera de tenerlos en cuenta para la etapa posterior de anteproyecto de la/las alternativa/as seleccionada y el planteo de recomendaciones a sugerir para las mismas en caso de que su aporte se considere relevante para el funcionamiento de la alternativa elegida.

Teniendo en cuenta los estudios y análisis mencionados, se elabora el estudio de factibilidad de las alternativas de intervención para mitigar las amenazas inaceptables de erosión e inundación costera, incluyendo la cuantificación de la evolución esperada de la playa ante cada medida considerada.

Como última etapa del proyecto, se desarrolla el anteproyecto de la alternativa seleccionada en conjunto con la contraparte, que consiste en medidas de monitoreo con el fin de comprender mejor el sistema y los procesos detectados en el diagnóstico, así como medidas basadas en la naturaleza, acondicionamiento de descargas pluviales y formalización de accesos a la playa.

Adjunto a este documento, se entregan las siguientes láminas que presentan los detalles del anteproyecto de manera gráfica.

FASE	LÁMINAS
DIAGNÓSTICO Y PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	L0- ÍNDICE L1- DIAGNÓSTICO L2- PROPUESTA DE ALTERNATIVA DE INTERVENCIÓN
ANTEPROYECTO (ETAPA 1) DISEÑO CONCEPTUAL (ETAPA 2)	L3- PLANTA GENERAL L4- SECCIONES AMORTIGUADORES L5- DETALLES: RELLENO DE PLAYA, ESPIGÓN, DESCARGA CAÑADA PICHUAGA L6- ACCESO COSTERO CALLE POLONIA L7- ACCESO COSTERO CALLE VISCAYA L8- DETALLES DE ACCESOS PLANTAS Y CORTES DE MÓDULOS L9- DETALLES DE ACCESOS PLANTAS Y CORTES DE MÓDULOS L10- DETALLES DE ACCESOS PLANTAS Y CORTES DE MÓDULOS

2. PUNTOS ESTRATÉGICOS DE SAN JOSÉ Y MONTEVIDEO

Por parte del Ministerio de Ambiente, y del equipo de trabajo encargado del llamado, se han seleccionado dos sitios estratégicos como piloto de cada departamento a intervenir. Los puntos seleccionados son la playa de Kiyú en el departamento de San José y la Playa del Cerro en Montevideo.

Las dos playas seleccionadas como áreas de estudio e intervención tienen comportamientos bien diferenciados naturalmente determinados por su ubicación.



Figura 2-1. Zona de actuación: Playa Kiyú y Playa del Cerro.

2.1. PLAYA DEL CERRO, MONTEVIDEO

La playa del Cerro, se encuentra ubicada en el departamento de Montevideo, al sur del Uruguay, lo que la caracteriza por ser parte de la costa del Río de la Plata y muy próxima a la Bahía de Montevideo.



Figura 2-2. Fotografía de la zona, playa del Cerro.

La playa cuenta con una extensión de aproximadamente 0.5km de orilla, la cual está determinada por salientes rocosos.

Su área de suelo arenoso tiene un ancho constante que ronda los 45m en todo su recorrido, teniendo como característica la proximidad a una rambla totalmente urbanizada, componente característico del barrio del Cerro.



Figura 2-3. Zona de estudio, playa del Cerro, Montevideo.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

3. MARCO LEGISLATIVO DE GESTIÓN TERRITORIAL

3.1. LEGISLACIÓN NACIONAL

3.1.1. LEY MARCO DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE - LEY N°18308/2008 Y SUS MODIFICATIVAS

La Ley N° 18.308, con vigencia en junio de 2008, establece el marco jurídico regulador general del ordenamiento territorial para el país. En particular, dedica dos artículos a las zonas costeras, dentro del capítulo IV “Sustentabilidad ambiental en el ordenamiento territorial”.

Por el artículo 50 (Protección de las zonas costeras) se profundizan las disposiciones de protección establecidas en el Código de Aguas para las zonas costeras. En forma consecuente, se dispone que éstas “serán especialmente protegidas por los instrumentos de ordenamiento territorial”. Asimismo, determina que “únicamente podrá autorizarse la edificación presentando un Plan Especial que proceda al reordenamiento, reagrupamiento y reparcelación del ámbito” “en la faja de defensa de costa que no cuente con infraestructuras y en la mayoría de cuyos solares no se haya construido”, para “los fraccionamientos ya aprobados y no consolidados”. Reafirma lo mandado por la Ley de Centros Poblados en cuanto a que se “destinará a espacios libres los primeros 150 (ciento cincuenta) metros de la ribera medidos hacia el interior del territorio” y que se “asegurará la accesibilidad” a ésta.

También el artículo 51 (Impactos territoriales negativos en zonas costeras) amplía la protección de zonas costeras al disponer que el Ministerio competente queda obligado a rechazar “fundadamente cualquier emprendimiento” “si el mismo fuera capaz de provocar impactos negativos” “en la faja de defensa de costas”. E incluye en la descripción de impactos negativos a “la construcción de edificaciones sin sistema de saneamiento con tratamiento total de efluentes o conexión a red” y “la materialización de fraccionamientos o loteos sin las infraestructuras completas necesarias”, así como todas “las demás que prevea la reglamentación”. Y amplía la concepción al agregar la exigencia de evaluar “que el emprendimiento pueda ser capaz de generar impactos territoriales acumulativos”.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP
Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

3.1.2. LEY GENERAL DE PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE - LEY N° 17283/2000

La Ley N° 17.283, vigente desde diciembre de 2000, regula los contenidos de conformidad con el artículo 47 de la Constitución de la República, que fuera modificado por plebiscito de año 1996. Luego de declarar el alcance del interés general, establece los derechos de los habitantes y los deberes de las personas y del Estado. Y desarrolla su objetivo de “del mandato previsto en el artículo 47 de la Constitución de la República, establecer previsiones generales básicas atinentes a la política nacional ambiental y a la gestión ambiental coordinada con los distintos sectores públicos y privados”.

En el artículo 19 (Cambio climático) comete al Ministerio competente, el establecer “las medidas de mitigación de las causas y de adaptación a las consecuencias del cambio climático.

Además, por el artículo 26 (Costas) declara, por vía interpretativa, los alcances de los artículos 153 y 154 del Código de Aguas. En particular define que “se entiende por ‘modificación perjudicial a la configuración y estructura de la costa’ toda alteración exógena del equilibrio dinámico del sistema costero o de alguno de sus componentes o factores determinantes”.

3.1.3. LEY DEL INTERÉS GENERAL DE PROTECCIÓN DEL MEDIO AMBIENTE CONTRA CUALQUIER TIPO DE DEPREDACIÓN, DESTRUCCIÓN O CONTAMINACIÓN - LEY N°16466/1994

A la declaración “de interés general y nacional de protección del medio ambiente contra cualquier tipo de depredación, destrucción o contaminación”, establecida por la Ley 16.466, vigente desde enero de 1994, se incorpora “la prevención del impacto ambiental negativo o nocivo y, en su caso, la recomposición del medio ambiente dañado por actividades humanas”.

En el artículo 6 introduce el sometimiento “a la realización previa de un estudio de impacto ambiental” “las actividades, construcciones u obras, públicas o privadas”, que identifica y deriva al Poder Ejecutivo la reglamentación de “los criterios mínimos de las actividades, construcciones u obras, a partir de los cuales se deberán realizar las evaluaciones de impacto ambiental”. Entre las actividades, construcciones u obras, indica: “las que se proyectaren

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP
Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

realizar en la faja de defensa costera definida por el artículo 153 del Código de Aguas” (250 metros).

Esta ley se encuentra reglamentada por el Decreto N° 349/005 del Poder Ejecutivo, de octubre de 2005.

3.1.4. CÓDIGO DE AGUAS - DECRETO-LEY N°14859/1978 Y SUS MODIFICATIVAS

El Decreto-Ley N° 14859, con vigencia desde diciembre de 1978, por su artículo 153 establece la “faja de defensa en la ribera del Océano Atlántico, el Río de la Plata, río Uruguay y de la Laguna Merín, para evitar modificaciones perjudiciales a su configuración y estructura”. Y dispone que “el ancho de esta faja será de doscientos cincuenta metros, medidos hacia el interior del territorio a partir del límite superior de la ribera, establecido en los artículos 36 y 37”. También acota que “cuando existiesen rutas nacionales o ramblas costaneras abiertas y pavimentadas, a una distancia menor de doscientos cincuenta metros del límite superior de la ribera, el ancho de la faja de defensa se extenderá solamente hasta dichas rutas o ramblas”. Y determina que “cualquier acción a promoverse en la faja de defensa de costas que modifique su configuración natural, requerirá la autorización previa del Ministerio competente, quien la denegará cuando dicha acción pueda causar efectos perjudiciales a la configuración o estructura de la costa”.

3.1.5. LEY DE CENTROS POBLADOS - LEY N°10723/1946, LEY N°10866/1946 Y SUS MODIFICATIVAS

Las leyes N° 10723/1946 y N° 10866, aprobadas en abril y octubre de 1946, regula la formación y expansión de los centros poblados, quedando comprendida “la subdivisión de predios con destino directo o indirecto a la formación de centros poblados y para aprobar el trazado y la apertura de calles, caminos o sendas o cualquier tipo de vías de circulación o tránsito que impliquen o no amanzanamiento o formación de centros poblados”.

Por el numeral 3º de artículo 13 se dispone que “ningún predio y ninguna vía pública que sirva de único acceso a predios podrá situarse ni total ni parcialmente en terrenos inundables, o que estén a nivel inferior a 50 centímetros por encima del nivel alcanzado por las más altas crecientes conocidas. Tampoco podrá situarse ningún predio en los casos de contigüidad a

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP
Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

los cauces del dominio público, dentro de las tierras abarcadas por una faja costera de 150 metros de ancho por lo menos, medida según lo dispone el Código de Aguas, a partir de la línea de ribera. En todo fraccionamiento de predios costeros, la faja de 150 (ciento cincuenta) metros determinada a partir de la línea superior de la ribera pasará de pleno derecho al dominio público.

3.2. INSTRUMENTOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL NACIONALES

3.2.1. DIRECTRIZ NACIONAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE DEL ESPACIO COSTERO DEL OCÉANO ATLÁNTICO Y DEL RÍO DE LA PLATA - LEY Nº19722/2019

La Ley 19.722, aprobada en julio de 2019, “constituye un instrumento de política pública para promover el uso sustentable y democrático de los recursos naturales y culturales de espacio costero”.

Entre sus objetivos, por su artículo 4º, incluye: “la protección de los paisajes naturales y culturales relevantes, la accesibilidad y uso público de las playas y costas en general, la adaptación de las intervenciones en el espacio costero al cambio climático y al aumento de la variabilidad, el respeto por los procesos naturales que se desarrollen en el espacio costero y la promoción de la diversidad y singularidad del mismo, la reversión o mitigación de los impactos negativos sobre el ambiente y sus ecosistemas”.

Por el artículo 7º (Lineamientos) dispone que: en los planes y actuaciones, se deberá tener en cuenta, entre otras: que “se identificarán y respetarán los procesos dinámicos naturales del espacio costero y definirán intervenciones compatibles con el mantenimiento de aquellos” y “se propenderá a que las intervenciones sean compatibles con el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas y que protejan especialmente los componentes vulnerables y sus funciones”.

En su artículo 9º ((Infraestructura vial y acceso vehicular) establece que “los instrumentos de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible (...) que refieran al espacio costero, así como nuevas urbanizaciones y proyectos, planes y programas de grandes infraestructuras y

equipamientos, en el espacio costero, propenderán a alejar de la costa el flujo intenso de vehículos, a través de los siguientes lineamientos:

c) Paseos costeros. Los trazados viales vehiculares cercanos y paralelos a la ribera tenderán a transformarse en paseos costeros marítimos peatonales o vehiculares de baja velocidad”.

3.2.2. DIRECTRICES NACIONALES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE - LEY Nº19525/2017

La Ley 19.525, vigente desde agosto de 2017, constituye un “instrumento general de la política pública en materia de ordenamiento territorial y desarrollo sostenible, con alcance al territorio nacional y zonas sobre las que la República ejerce su soberanía y jurisdicción”.

Uno de sus objetivos estratégicos integrales, por el artículo 5º, plantea “proteger el ambiente, promoviendo la conservación y uso sustentable de la biodiversidad y de los recursos naturales y culturales”.

En el artículo 22 (Aguas pluviales, áreas contaminadas e inundables) dispone que los instrumentos de ordenamiento territorial deberán incluir “el manejo de las aguas pluviales (...) quedando prohibida la urbanización de las áreas (...) que se determinen en como inundables con períodos de retorno menor a cien años”.

3.3. INSTRUMENTOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL REGIONALES

3.3.1. ESTRATEGIAS REGIONALES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE METROPOLITANAS (EROT-M) - DECRETO Nº26/2011 (CANELONES), DECRETO Nº33830/2011 (MONTEVIDEO), DECRETO Nº3065/2011(SAN JOSÉ), DECRETO Nº321/011 (PODER EJECUTIVO) CANELONES, MONTEVIDEO, SAN JOSÉ

Las Estrategias Regionales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible Metropolitanas, se encuentran vigentes desde el año 2011, por la aprobación de los respectivos decretos por las tres juntas departamentales y por el decreto del Poder Ejecutivo.

En este caso no se incorporan regulaciones referidas a la faja costera del Río de la Plata.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

3.4. INSTRUMENTOS DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEPARTAMENTALES (MONTEVIDEO)

3.4.1. DIRECTRICES DEPARTAMENTALES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE -DECRETOS Nº34870/2013, Nº38471/2013 Y Nº34889/2013

Las Directrices Departamentales de Montevideo, que se encuentran vigentes desde diciembre de 2013, pautan las “Orientaciones básicas” mediante el Capítulo II. En el numeral 5.1 (Sustentabilidad ambiental), de su artículo 5º, establecen que “en la búsqueda de un desarrollo integral, se prestará especial atención a la preservación de los valores ambientales, al uso responsable de los recursos naturales, a la respuesta a los procesos de cambio climático y a la gestión integral del riesgo” (artículo D.176 del Digesto Departamental).

Entre los objetivos planteados en el artículo 6º, se dispone “la mejora en las calidades urbanas que califican el hábitat, fomentando el desarrollo de un sistema de espacios públicos de calidad, reduciendo la vulnerabilidad ante la variabilidad climática y minimizando los riesgos socioambientales” (artículo D.177 del Digesto Departamental).

En los lineamientos para el ámbito urbano (artículo 8º), establece “propender al tratamiento respetuoso de los cursos de agua. Como orientación general para definir las áreas de riesgo alto se considera el periodo de retorno de 100 años” (artículo D.178 del Digesto Departamental).

Por el Capítulo VI del Decreto de Directrices Departamentales, se dispone la “Categorización de suelo en el territorio departamental”, lo que es recogido en el Digesto Departamental en los artículos D.180 a D.210 del Capítulo VI (Categorización de Suelo en el Territorio Departamental). Al área de la Playa del Cerro le corresponde la categoría de Suelo Urbano y la Subcategoría de Suelo Urbano Consolidado Intermedio.

El artículo 41º, en el Capítulo VII (Territorios Estratégicos) del Decreto, dispone: “establecer como territorios estructurantes del ámbito departamental, a los fines estratégicos vinculados a los objetivos y lineamientos propuestos en las presentes Directrices de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible, los siguientes: 1) Frente Costero Montevideano” (recogido por el artículo D.212 del Digesto Departamental).

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Por el artículo siguiente (42º del Decreto y D.213 del Digesto Departamental) se define que el “Frente Costero Montevideano Comprende el borde de la ciudad y el territorio montevidiano sobre el Río de la Plata en toda su extensión. Constituye un territorio de frontera, con fuerte vocación de espacio público recreativo, a la vez que de gran fortaleza paisajística”. Identifica “tres grandes sectores” y para la “Bahía” plantea que “se procurará recalificar las áreas urbanas contiguas y próximas a la bahía y se acordarán visiones estratégicas y actuaciones en común entre el Gobierno Departamental y las entidades públicas localizadas en el entorno de la bahía”. Finalmente, dispone “Intervenciones”, entre las cuales plantea “Plan del Cerro”.

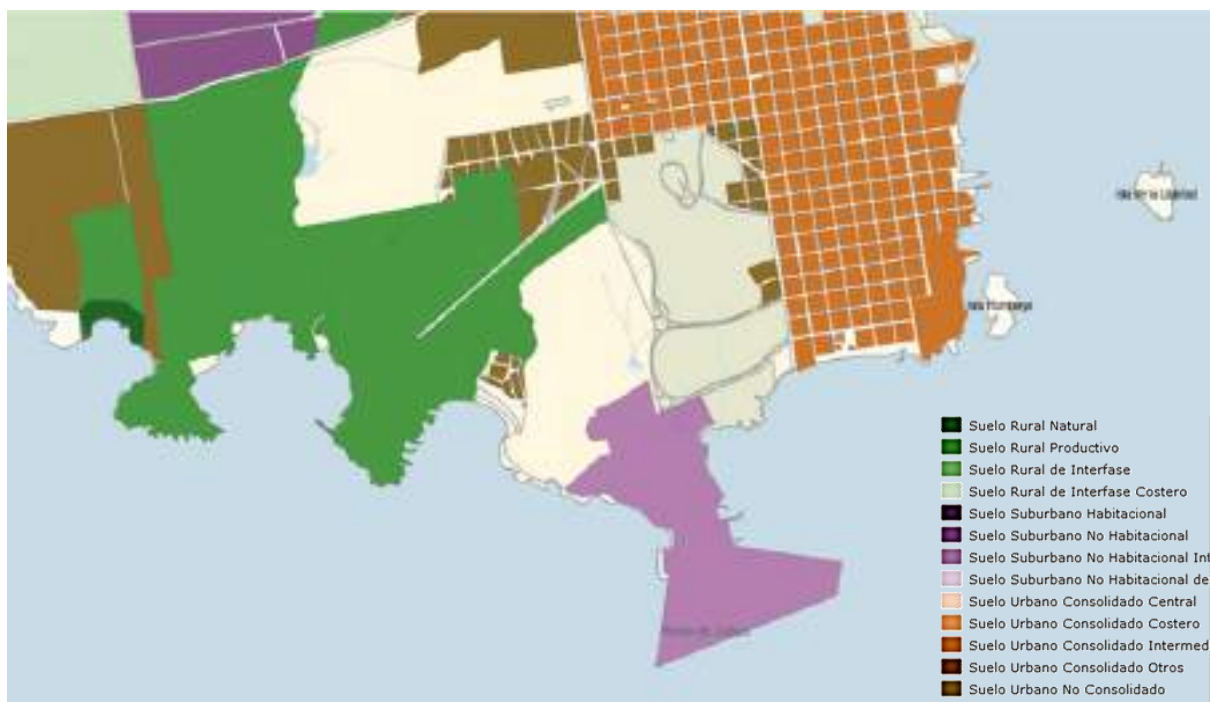


Figura 3-1 Categorías y subcategorías de Suelo

3.4.2. PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL - DECRETO N°28.242/1998 Y SUS MODIFICATIVOS

El Plan de Ordenamiento Territorial (o Plan Montevideo), que tiene vigencia desde setiembre de 1998, ha registrado muy numerosas modificaciones por decretos departamentales posteriores. Todas sus disposiciones se han venido compilando rigurosamente en el Digesto Departamental de Montevideo, por lo cual, simplemente, se hace referencia al articulado de éste.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

El artículo D.223.18 establece el Sistema de Espacios Verdes y determina que éste “cumple las funciones esenciales de contribuir a mantener la calidad ambiental en todo el territorio departamental y permitir el acceso de los ciudadanos a la Naturaleza. Entre los que está compuesto incluye “las costas y la bahía”.

Por el artículo D.223.41 (Cauces, riberas y márgenes) “se prohíben las obras, construcciones o actuaciones que puedan dificultar el curso de las aguas en los cauces de los ríos, arroyos y cañadas, así como en los terrenos inundables durante las crecidas no ordinarias, cualquiera sea el régimen de propiedad y la zonificación de los terrenos y de acuerdo a la legislación vigente y la competencia de los órganos correspondientes” y agrega que “se exceptúan las obras de ingeniería orientadas al mejor manejo de las aguas”.

Zona	Categoría	Área mín.	Frente mín.	FOS máx.	FOT máx.	Permeab.	Altura máx.
	de suelo	m ²	m	%	%	%	m
SUCIn	U Consol	200	10	60	-	-	4 - 7
SUNHI	SU No Hab	30.000	80	35	-	FIS 26R	7 - 12

Tabla 3-1 Parámetros Urbanísticos - Área de Playa del Cerro. Fuente Digesto departamental de Montevideo

La zona urbanizada del Cerro tiene establecido retiro frontal de la edificación en 4 metros, con excepción de los frentes sobre la calle Grecia, que carece de retiro. Los padrones de la Armada Nacional tienen un retiro frontal obligatorio de 15 metros.

Los mencionados padrones de la Armada Nacional registran también FIS según la clase 26R (Factor de Impermeabilización del Suelo, como el porcentaje de la superficie total del predio que puede recubrirse con materiales impermeables).

Superficie	Clase 26R FIS	Superficie máxima
Ha	%	m ²
< 0,5	26	650
0,5 ≤ S ≤ 3	13	1.950
≥ 3	6,5	3.900

Tabla 3-2 Factor de Impermeabilización de Suelo. Fuente: Digesto Departamental de Montevideo

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4. PLAYA DEL CERRO, MONTEVIDEO

4.1. RECONOCIMIENTO DEL ÁMBITO TERRITORIAL DE TRABAJO

La Playa del Cerro se despliega en un tramo de unos 500 metros en el centro del arco costero de la Bahía de Montevideo, entre la Punta del Rodeo en el este (donde se encuentra el Varadero y Astillero del Cerro) y la Punta de Lobos en el oeste (ocupada por diversas instalaciones de la Armada Nacional en el predio del ex-frigorífico Swift).

El arco, casi rectilíneo, de la playa se extiende, entonces, entre dos grandes afloramientos rocosos: por el este localizado en el eje de la calle Portugal y por el oeste, ya en el frente del Parque de la Memoria (sector del Parque Vaz Ferreira), delante de la playa de estacionamiento vehicular. Más hacia el extremo oeste del tramo, fuera del alcance del presente estudio, se encuentra otro muy pequeño arco de playa arenosa, dentro del establecimiento militar.

A lo largo del sector se desarrolla la infraestructura circulatoria que limita la playa por el norte: en el oeste, la Rambla José Gurruchaga, en el frente costero del Parque Carlos Vaz Ferreira y en el este la calle Suiza que es continuidad de la Rambla, por lo que suele denominarse “Rambla Suiza” (en el sector urbanizado de cuatro cuadras entre la calle Portugal y la calle Polonia).

En el centro del arco de playa, casi coincidente, aunque algo al oeste de un afloramiento rocoso menor, existe un grupo de construcciones en una decena de padrones, al sur de la calle Suiza entre las calles Río de Janeiro y Vizcaya. Estas construcciones se localizan en dos de las seis manzanas costeras al sur de la Rambla. E, incluso, en la cartografía oficial se grafica la calle Noruega (denominada Venezuela en algún plano antiguo), paralela a Suiza, sobre el borde costero.

4.2. RECOPIACIÓN Y ESTUDIO DE ALGÚN ANTECEDENTE CON INCIDENCIA EN LA CONDICIÓN DE LA COSTA

4.2.1. DINÁMICAS TERRITORIALES

En el frente urbano costero son verificables dos realidades bien diferenciadas: el área amanzanada en el este y la zona de parque, en el oeste del sector.

El sector urbanizado que enfrenta a la playa son las cuatro cuadras ya mencionadas del amanzanado original de la Villa del Cerro (o Villa Cosmópolis, creada en 1834). Se trata de la mitad del borde sur, alejado de la centralidad y de las áreas del barrio con cierto dinamismo.

Tanto la densidad de la edificación como la densidad poblacional, son bajas. En la zona, son, en general, viviendas unifamiliares de una o, a lo sumo, dos plantas. En el frente sobre la calle Suiza existen algunos comercios de pequeño porte, muy asociados con el espacio público que enfrentan y la existencia de líneas de ómnibus, paradas y la terminal.

El pequeño tramo del Parque que enfrenta a la playa arenosa presenta dos grandes explanadas de estacionamiento, lo que constituye una situación excepcional ya que el parque es extenso espacio público con potente arbolado, muy sombrío por dominar especies de follaje caduco. Salvo oportunidades excepcionales, registra muy baja actividad.

4.2.2. CATASTRO, PROPIEDAD

El amanzanado del barrio es sumamente regular, con manzanas cuadradas de unos 86 metros de lado y calles en el orden de los 14 metros de ancho, con alguna excepcional de mayor ancho, como el caso de la calle Suiza, que supera los 20 metros.

Los padrones tienen también forma regular, son rectángulos con frentes muy uniformes, en el orden de los 9 a 10 metros, y profundidades crecientes hacia el centro de la cuadra. Eso lleva a que la superficie de los padrones resulte muy variable, con áreas que oscilan entre poco más de 200 m² en las esquinas hasta 400 m² en el eje de la cuadra, con situaciones excepcionales por unificación de más de un padrón.

La regularidad en la forma de los padrones se altera en las manzanas en el área de playa, al sur de la calle Suiza, donde se observan padrones trapezoidales. Solamente en dos de las mencionadas manzanas, en el sur de la calle Suiza, se registra una división de padrones de

áreas similares al resto del tejido, por el contrario, la más extrema al oeste y las del este, son un único padrón la totalidad de la manzana.

Al oeste de la calle Polonia, el Parque Carlos Vaz Ferreira, en esta zona, comprende dos enormes padrones rurales que enfrentan a la costa y que llegan hasta la orilla de la Bahía. La Rambla José Gurvich simplemente los atraviesa.

Según el relevamiento efectuado por el Municipio A y de acuerdo con lo declarado por los residentes, cinco padrones serían de propiedad privada, los correspondientes a los números: 115261, 115262, 115263, 115264 y 116006, con frente a las calles Suiza y Río de Janeiro, donde son ocho los padrones con construcciones (números 115244, 115245, 115260, 115261, 115262, 115263 y 115264 en la manzana 3312 y número 116006 en la manzana 1503).

4.2.3. INFRAESTRUCTURAS Y SERVICIOS URBANOS

La totalidad del ámbito amanzanado analizado, al norte de la calle Suiza, cuenta con infraestructuras urbanas completas: red de saneamiento (sistema separativo), red de agua potable, red de energía eléctrica y alumbrado público. En la zona con construcciones al sur de la calle Suiza, no existen conexiones a la red de saneamiento y la disposición de aguas servidas se realizaría mediante pozo negro, sin mantenimiento o directamente a la cañada Pichuaga.

Si bien todo el escurrimiento de aguas pluviales es superficial sobre las calzadas vehiculares, en las proximidades de la playa existen algunos pocos dispositivos puntuales de captación y conducción de pluviales con aliviadero en la playa a través de la manzana 3312 al sur de la calle Suiza, entre las calles Río de Janeiro y Vizcaya. Las áreas del Parque Vaz Ferreira tienen drenaje natural de las aguas pluviales, con una cañada que las concentra y transcurre hasta la playa costera entre las grandes playas de estacionamiento vehicular.

El casco urbano del barrio, al este de la calle Río de Janeiro, tiene calzadas vehiculares de hormigón, con cordón y veredas pavimentadas, lo que incluye la calle (o Rambla) Suiza. Las calles al oeste de la calle Río de Janeiro tienen calzada de material asfáltico, con perfil rural, cunetas y sin aceras.

La vereda sur de la Rambla Suiza se prolonga en la Rambla José Gurvich, aunque la calzada pasa a ser de pavimento asfáltico, hacia el oeste de la calle Polonia y del lado norte de ésta el perfil es con cuneta.

El arbolado urbano alineado es muy escaso en toda la zona.

La Rambla Suiza y la Rambla Gurvich tienen tratamiento especial, propio de paseo peatonal, en el lado sur, con equipamiento y mobiliario urbano bien consolidado, diseñado con cierto cuidado: explanadas, escaleras de acceso a la playa, muros banco, iluminación especial, arbolado (palmeras y arbustivas, discontinuas), pavimentos. En el área de playa hay algún equipamiento: una cancha de piso duro. El conjunto registra razonable mantenimiento, aunque se registra algún déficit puntual. La condición de equipamiento y mobiliario prácticamente se interrumpe entre las calles Río de Janeiro y Vizcaya, coincidente con la existencia de edificaciones al sur de la calle Suiza.

Son bien reconocibles dos tramos en la Rambla peatonal: uno de antiguo diseño (aunque remozado junto con el siguiente) en el este hasta la calle Bogotá y un segundo, de factura reciente (de la década de 1990), al oeste de la mencionada calle.

La Rambla peatonal culmina, al oeste, y gira hacia el sur, en forma coincidente con el final de la playa, lo que permite la existencia de una gran explanada de estacionamiento vehicular al sur de la calzada de la Rambla Gurvich.

En la costa, un afloramiento rocoso intermedio separa dos arcos de playa (en la actualidad arenosa solamente la del oeste, siendo de piedras la del este) con sus accesos bien identificados, desde la Rambla. Ambas playas cuentan con sendas casetas de guardavidas.

4.2.4. OCUPACIÓN DE SUELO

La ocupación de suelo no es muy elevada. En prácticamente la totalidad de los padrones se observa retiro frontal, a menudo enjardinado. También resulta muy frecuente la existencia de patio libre posterior. La excepción está constituida por algunos casos de padrones de muy pequeña área, próximos a las esquinas, en que se aprecian únicamente pequeños patios. Son frecuentes, también, los padrones con muy baja ocupación.

Una situación particular se observa en la manzana número 1503 y muy especialmente en la número 3312, al sur de la Rambla Suiza, en que las edificaciones se encuentran arracimadas

en algunos de los padrones, con muy escaso suelo libre en el interior del conjunto. En total se trata de unos 2.000 m² de construcciones, con grados de modestia constructiva elevados y escasa conservación. Las cubiertas son prácticamente todas livianas de chapa, así como las paredes en numerosos casos.

En los padrones rurales del Parque Vaz Ferreira la única ocupación, aparte de los pavimentos para circulación y estacionamiento vehicular, es el bloque de viviendas Cerro Sur, que se localiza en un padrón urbano, enclavado dentro del padrón rural del parque.

Al sur de la Rambla, en el límite este del tramo costero se encuentra la Punta del Rodeo, extenso terreno rocoso. Sobre él y a unos 100 metros al este de la playa, se encuentra el Club de Pesca del Cerro, con su acotado muelle y su corto espigón rompeolas. En el oeste, en la Punta de Lobos, también la playa se cierra con un extenso afloramiento rocoso. En ambas situaciones, detrás de las rocas se extienden áreas de espacio verde, en el este con importante arbolado y en el oeste con núcleos de arbustivas y algún árbol de pequeño porte.

4.2.5. USOS Y TEMPORALIDAD

La condición periférica respecto al tejido urbano, lleva a que no exista concentración de servicios urbanos en este borde costero, con la excepción de algunos servicios comerciales de escala barrial, que seguramente aprovechan la temporada estival, en la que se suman alguna oferta informal más en el espacio público.

La existencia de la terminal de ómnibus y el buen servicio de transporte público, hacen que siempre se registre movimiento urbano, el que se acentúa los fines de semana y feriados, así como, con mayor intensidad, en época de playas.

4.2.6. SOCIEDAD LOCAL Y POBLACIÓN FLOTANTE

Se trata de un barrio urbano consolidado, de baja densidad, con residencia permanente y muy escasa dinámica poblacional. No existe oferta de alojamiento temporal. Es así que afluencia de usuarios de la costa y el parque, es siempre por el día.

El uso de la infraestructura recreativa y la deportiva (escasa), se da regularmente por la población local del barrio y, excepcionalmente, por los visitantes.

Cabe agregar alguna información poblacional disponible respecto de las manzanas en el espacio público al sur de la calle Suiza, donde se encuentra el conjunto edificado descrito.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Según el Censo 2011, en las mencionadas manzanas existían 24 viviendas, donde residían 61 habitantes que constituían 22 hogares, a esa fecha.

De acuerdo con el relevamiento reciente, llevado a cabo por el Municipio A y según las declaraciones de los residentes, estarían habitando en esas manzanas, al sur de la Rambla Suiza, unas 52 personas (menores 12 de ellas) constituidas en 21 hogares. Esta información actualizada, viene a confirmar los datos de 2011, verificando la baja dinámica poblacional del sector.

4.2.7. PATRIMONIO NATURAL, CULTURAL

El Parque Dr. Carlos Vaz Ferreira constituye uno de los espacios públicos singularmente valiosos de la ciudad de Montevideo. No solamente por contener en su interior dos monumentos históricos: la Fortaleza y el Memorial de los Detenidos Desaparecidos, sino por sus valores propios, su significación paisajística y patrimonial, tanto en sus espacialidades interiores como por su presencia respecto al entorno. Goza, además, del máximo nivel de protección: es Monumento Histórico Nacional y está declarado Bien de Interés Departamental.

El caso histórico del barrio (o Villa) del Cerro, tiene también singulares valores patrimoniales y particularmente la llamada Rambla Suiza, con un carácter paisajístico propio característico. El frente litoral costero de la Playa del Cerro y sus afloramientos rocosos, constituyen un valor paisajístico singular que requieren protección y puesta en valor. Las amplias visuales a la Bahía que de allí se logran, dotan al sitio de una muy especial consideración social.

4.2.8. MARCO LEGAL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

El departamento de Montevideo ha sido pionero en el establecimiento de legislación de ordenamiento territorial. Con el Decreto Departamental N° 28242, de setiembre de setiembre de 1998, se inició la incorporación de normativa específica para el ordenamiento del territorio. En los 25 años transcurridos ha recibido numerosa legislación complementaria y de revisión parcial, especialmente con el Decreto Departamental N° 34870, de 2013, de Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible.

La legislación de ordenamiento territorial se resume y analiza en el correspondiente anexo.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.3. VISITA AL SITIO

El día 5 de febrero del 2024 se realizaron las recorridas de campo para el reconocimiento del espacio a intervenir y de su área de influencia. Dicha recorrida se realizó en conjunto con personal de la Intendencia de Montevideo.

A continuación, se presentan fotografías tomadas en el lugar.



Playa del Cerro, se observa zona vegetada entre el área de playa y la rambla.



Zona de rocas al este del arco de playa en estudio. Esta zona se encontraba cubierta de arena en años anteriores.



Asentamiento ubicado en la zona de playa. (Vista desde la playa)



Asentamiento ubicado en la zona de playa. (Vista desde la rambla)

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024



Cañada la Pichuaga: punto donde se captan los escurrimientos de la cañada hacia un pozo de bombeo, el cual bombea aguas residuales y de lluvia.



Cañada la Pichuaga: aguas abajo del pozo de bombeo. Se observa el vertido hacia la zona de playa.



Descarga pluvial que vierte en la zona central de la playa en estudio



Cabezal de la descarga que vierte en la zona central de la playa.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024



Bajada accesible en la zona oeste del arco de la playa del Cerro.



Escalera de acceso a la playa del Cerro.

4.4. VIENTO Y CLIMA MARÍTIMO

4.4.1. DATOS UTILIZADOS

Se utilizan las siguientes series de datos:

- Viento y oleaje del reanálisis global ERA5.
- Viento medido en Pontón de Recalada.
- Nivel de mar medido por ANP en el Puerto de Montevideo.
- Nivel de mar del hindcast global GTSM.
- Nivel de mar del hindcast local generado por el IMFIA.

4.4.2. VIENTO

Se utiliza el viento del reanálisis ERA-5 correspondiente al nodo (35°S,56°W). Estos datos son de paso horario, con velocidad de viento asimilable a media en 10 minutos medida a 10 m de altura ($V_{10m,10min}$). La Figura 4-1 presenta una comparación de cuantiles de la velocidad de viento del reanálisis con la velocidad de viento medida en la estación de Pontón de Recalada. Se observa que el reanálisis tiende a subestimar la velocidad de viento medida, por lo que se procede a realizar una corrección por cuantiles según se describe a continuación.

La velocidad de viento del reanálisis se corrige mediante una función de la forma:

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

$$V^*(t) = A(\theta)V(t)^{B(\theta)} + C(\theta)$$

en donde los coeficientes $A(\theta)$, $B(\theta)$ y $C(\theta)$ dependen de la dirección de procedencia del viento y se estiman a partir de gráficos de cuantiles similares a los de la Figura 4-1, pero calculados para distintas ventanas direccionales. En la calibración de los parámetros se utilizan únicamente los datos simultáneos de ERA5 y medidos en Pontón de Recalada.

La Figura 4-2 presenta los coeficientes direccionales $A(\theta)$, $B(\theta)$ y $C(\theta)$ obtenidos. La Figura 4-3 presenta la comparación de cuantiles entre la velocidad de viento del reanálisis corregida y la velocidad de viento medida en Pontón de Recalada; se observa que el reanálisis corregido reproduce adecuadamente las velocidades de viento medidas en el mar.

Por último, la Figura 4-4 compara el histograma de frecuencias de la dirección de viento del reanálisis con el obtenido a partir de los datos medidos en Pontón de Recalada. Nuevamente, se observa que el reanálisis reproduce adecuadamente la dirección del viento observada en la estación marítima.

Se concluye por tanto que la serie de viento del reanálisis ERA-5, con velocidades de viento corregidas, reproduce adecuadamente el viento medido en el mar en la zona de estudio, tanto en términos de velocidad como en términos de dirección. En lo que sigue se utilizará únicamente esta serie de viento, sin recurrir a los datos medidos.

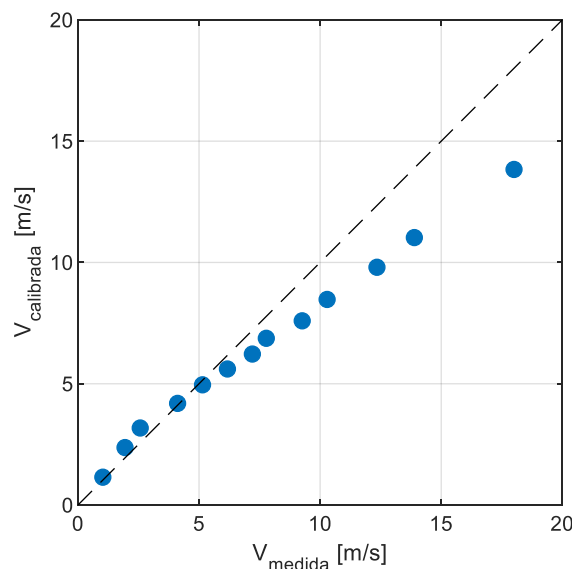


Figura 4-1: Gráfico de cuantiles de velocidad de viento sin calibrar (datos simultáneos, $p = [1 \ 5 \ 10 \ 90 \ 95 \ 99]$).

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

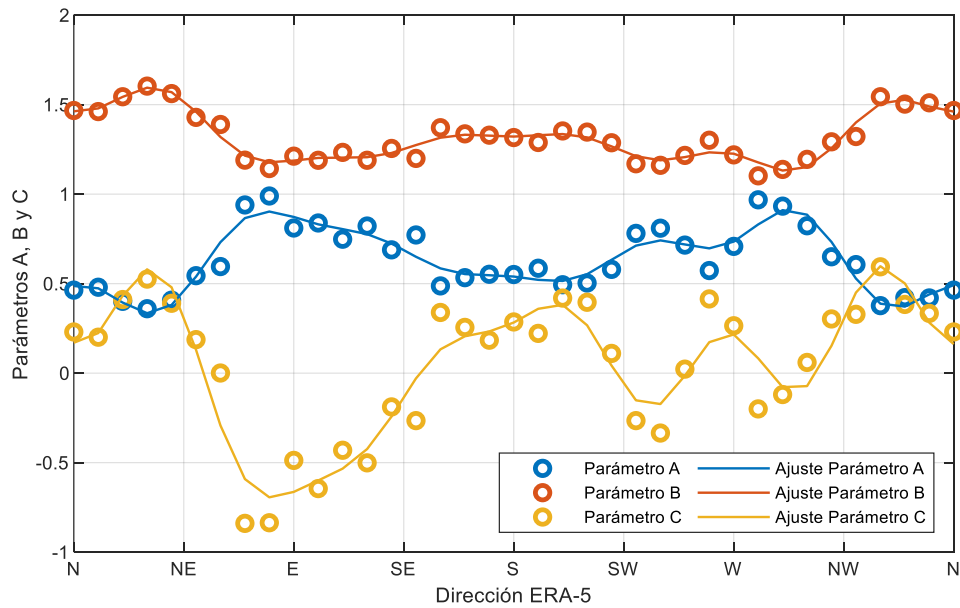


Figura 4-2 – Parámetros de la corrección de la velocidad de viento.

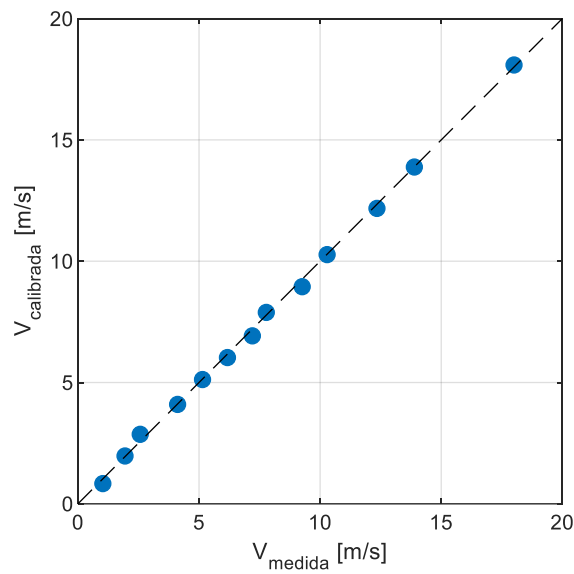


Figura 4-3 – Gráfico de cuantiles de velocidad de viento corregida (datos simultáneos, probabilidades [1%, 5%, 10%, 20%, ..., 90%, 95%, 99%]).

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

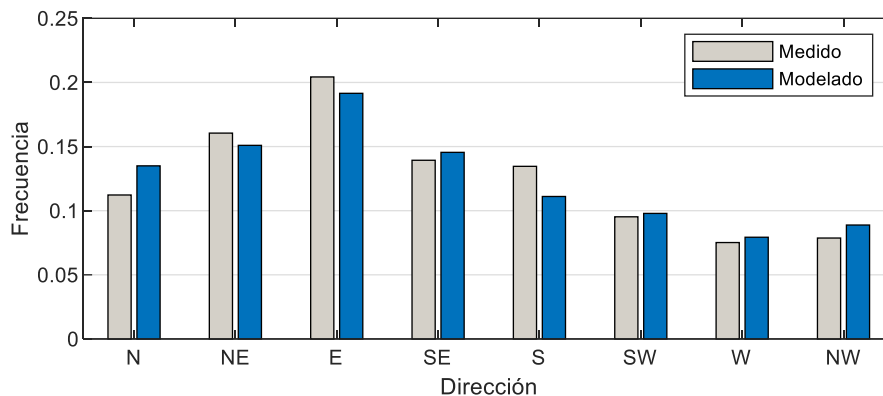


Figura 4-4 – Histogramas de frecuencia de dirección de viento contruidos usando únicamente datos simultáneos entre el reanálisis y las series medidas.

4.4.3. NIVEL DE MAR

Se construye una serie continua de paso horario de nivel de mar en Montevideo mediante el siguiente procedimiento:

1. Se toma la serie medida en el puerto de Montevideo por ANP y, en aquellos casos en que el registro se realiza con paso de tiempo menor al horario, se toma para cada hora el promedio de los registros disponibles para dicha hora. Esta serie presenta datos faltantes en varios períodos, aunque tiene los años 2019 y 2020 completos.
2. Se utiliza la serie anterior para corregir mediante *quantile mapping* los datos del *hindcast* GTSM, obteniéndose una serie horaria sin datos faltantes para el período 1979-2018. La Figura 4-5 presenta la comparación de cuantiles de la serie de nivel de mar medido con la de nivel de mar del *hindcast* GTSM; se observa que una vez aplicada la corrección el *hindcast* reproduce adecuadamente los niveles de mar medidos.
3. Se completa la serie de datos corregidos GTSM con los datos medidos por ANP del período 2019-2020.

Como resultado final se tiene una serie horaria de datos de nivel de mar que cubre el período 1979 hasta 2020 inclusive.

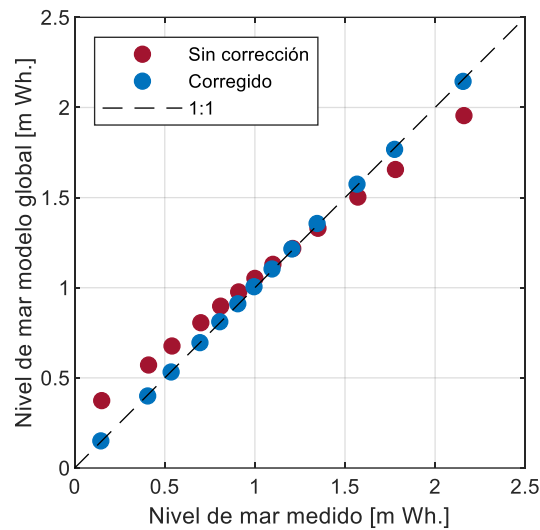


Figura 4-5 – Comparación de cuantiles de los datos de nivel de mar medidos y del hindcast GTSM sin corregir y corregido (probabilidades [1%,5%,10%,20%,...,90%,95%,99%]).

4.4.4. OLEAJE

4.4.4.1. Propagación al sitio

Para la propagación del oleaje desde los nodos ERA5 hasta la zona de estudio se utiliza el modelo SWAN de generación y propagación de oleaje. La modelación se realiza utilizando tres mallas anidadas, con paso espacial de 500 m, 100 m y 20 m respectivamente (ver Figura 4-6).

Existen datos de oleaje medidos en la zona mediante una boya de oleaje en el marco del proyecto de la terminal regasificadora (actualmente la boya es propiedad de la Intendencia de Montevideo), los cuales se utilizan para validar el modelo numérico. La Figura 4-7 presenta la comparación de los datos medidos y simulados (solo datos simultáneos) en términos de distribuciones de probabilidad, presentando el gráfico de cuantiles y la comparación de los histogramas de frecuencia para la altura de ola significativa espectral, la dirección media y el período medio. Se observa que los resultados en general son muy buenos para las tres variables, aunque el modelo tiende a sobreestimar las alturas de ola en torno a los 50 cm, subestimar levemente la frecuencia de ocurrencia del oleaje del Oeste y sobreestimar levemente el período medio.

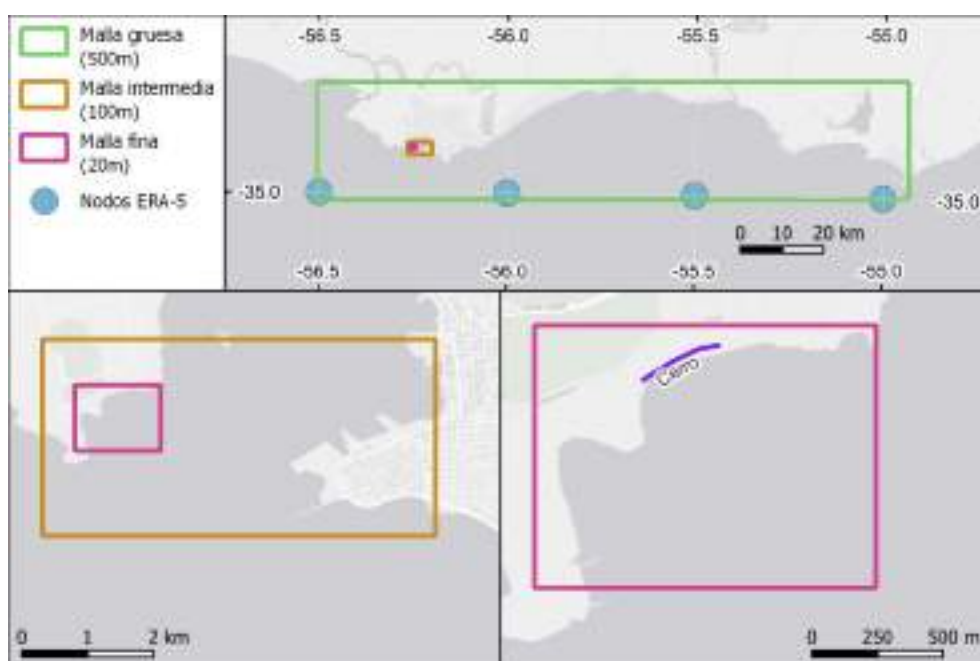


Figura 4-6 – Mallas utilizadas en el modelo SWAN para la propagación del oleaje.

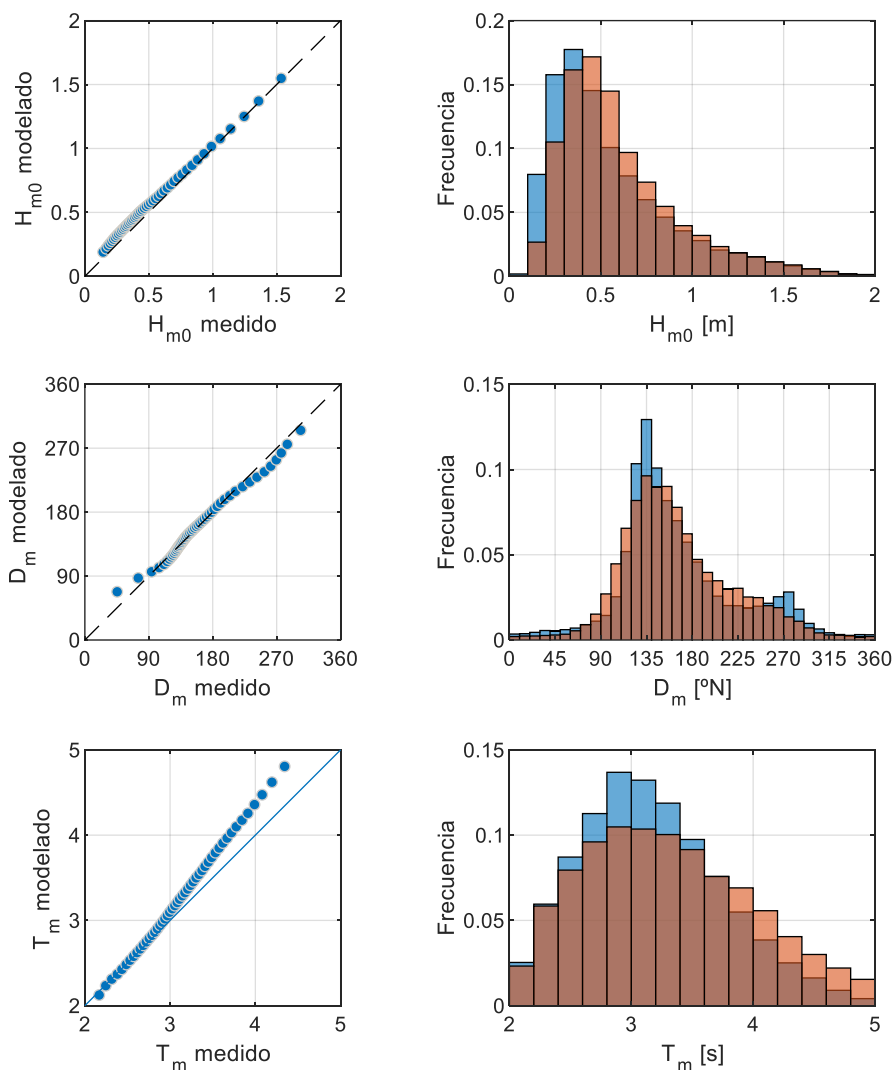


Figura 4-7 – Validación del modelo de propagación y generación de oleaje: gráficos de cuantiles (izq.; probabilidades 2% a 98%, cada 2%) y comparación de distribuciones de probabilidad (der.), para altura de ola significativa (arriba), dirección media (centro) y período medio (abajo).

4.4.5. CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DEL CLIMA MARÍTIMO

4.4.5.1. Régimen medio de viento

La Figura 4-8 presenta el régimen medio de velocidad y dirección de viento (velocidad media en 10 minutos a 10 m de altura sobre la superficie del mar, según se describe en la sección 4.4.2) característico de la zona de estudio.

Vw-Dw	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0-2	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,5%	0,6%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,2%	0,3%	0,4%	7%
2-4	1,2%	1,4%	1,3%	1,1%	1,2%	1,3%	1,1%	0,9%	0,9%	0,8%	0,7%	0,7%	0,6%	0,6%	0,7%	1,1%	16%
4-6	1,7%	1,9%	1,7%	1,6%	1,8%	1,9%	1,4%	1,1%	1,0%	0,9%	0,8%	0,8%	0,8%	0,9%	1,0%	1,4%	21%
6-8	1,7%	1,9%	1,7%	1,7%	1,9%	2,1%	1,3%	1,2%	0,9%	0,8%	0,7%	0,7%	0,8%	0,9%	1,0%	1,2%	20%
8-10	1,1%	1,3%	1,3%	1,4%	1,7%	1,7%	1,0%	1,0%	0,9%	0,8%	0,7%	0,6%	0,6%	0,7%	0,7%	0,7%	16%
10-12	0,5%	0,6%	0,8%	1,0%	1,2%	1,1%	0,7%	0,7%	0,7%	0,6%	0,6%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	11%
12-14	0,2%	0,2%	0,4%	0,5%	0,7%	0,4%	0,4%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	6%
14-16	0,1%	0,1%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,3%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	3%
16-18	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,2%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	1%
18-20	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0%
20-22	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%
22-24	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%
Total	7%	8%	8%	8%	9%	9%	7%	6%	6%	5%	5%	4%	4%	4%	4%	5%	100%

Figura 4-8 – Frecuencia media anual de velocidad y dirección de viento sobre el mar.

4.4.5.2. Régimen medio y extremo de nivel de mar

La Figura 4-9 presenta la distribución de probabilidad acumulada empírica (régimen medio) del nivel de mar en Montevideo. Esta distribución está construida a partir de la serie de datos que combina datos medidos y de los *hindcast* descrita en la sección 4.4.3.

Por otro lado, para estimar el régimen extremo de nivel de mar se considera que resulta más adecuado usar la serie de máximos anuales de nivel de mar medido por ANP que la serie horaria reconstruida descrita en la sección 4.4.3. Por un lado, los datos de *hindcast* pueden tener errores en los eventos puntales, que si bien no generan inconvenientes cuando se trabaja con toda la información (como es el caso del régimen medio) sí pueden generar algún sesgo cuando se trabaja solo con algunos eventos seleccionados (como es el caso del régimen extremo); por otro lado, la serie de máximos anuales medidos cubre un período de tiempo mayor que las series horarias medidas y de los *hindcast*, lo que redundará en una reducción en la incertidumbre en la caracterización del régimen de extremos.

Para la caracterización del régimen de extremos de nivel de mar en puerto se ajusta una distribución de extremos generalizada (GEV) a la serie de máximos anuales medida en Montevideo por ANP, utilizando el método de los momentos L para estimar los parámetros de la distribución y la técnica de *bootstrapping* no paramétrica para la estimación de los límites del intervalo de confianza de 90%. La Figura 4-10 presenta el régimen de extremos de nivel de mar obtenido.

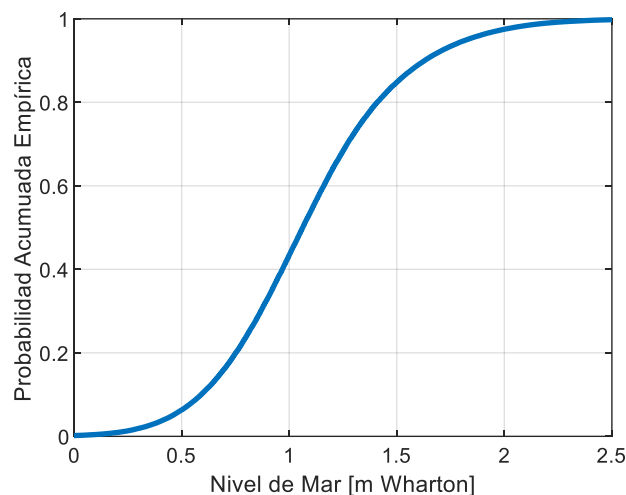


Figura 4-9 – ECDF de la serie de nivel de mar en Montevideo, construida en la sección 2.3, la cual se toma como válida para playa del Cerro.

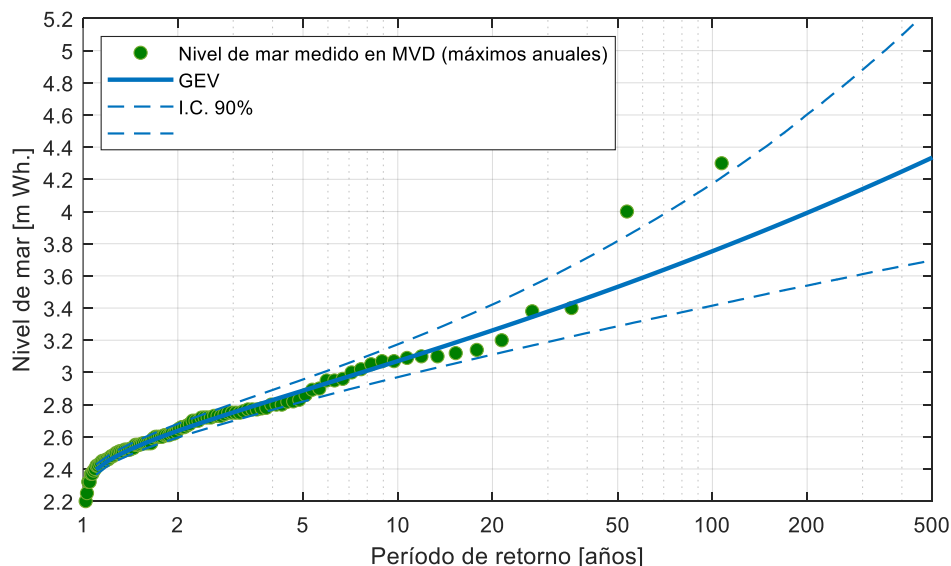


Figura 4-10 – Régimen de extremos del nivel de mar en Montevideo, estimado a partir de la serie de máximos anuales medida por ANP.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.4.5.3. Régimen medio y extremo de oleaje

Para la etapa de diagnóstico y diseño de alternativas se utilizará el oleaje propagado hasta un punto ubicado frente a la playa del Cerro (ver Figura 4-11). A continuación, se presentan el régimen medio anual conjunto de ocurrencia de: altura de ola significativa y dirección media (Figura 4-12), altura de ola significativa y período medio (Figura 4-13), y período medio y dirección media (Figura 4-14). Por último, la Figura 4-15 presenta el régimen de extremos de altura de ola significativa, obtenido mediante el método de picos sobre el umbral, usando el método de los momentos L para estimar los parámetros de la distribución Exponencial, y la técnica de *bootstrapping* no paramétrica para la estimación de los límites del intervalo de confianza de 90%.

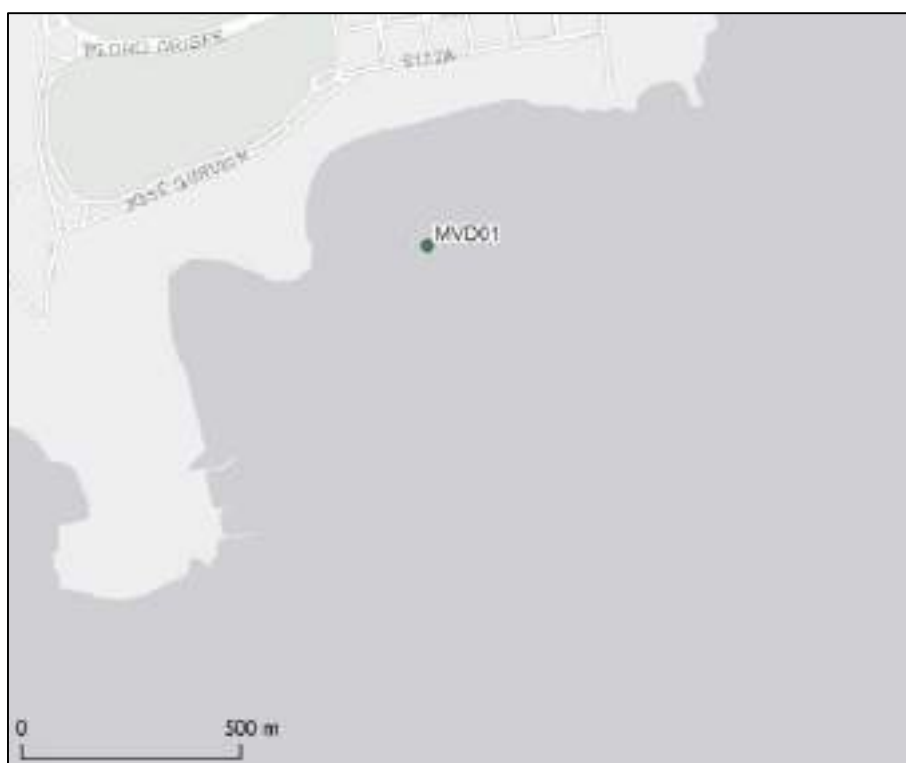


Figura 4-11 – Ubicación del nodo de referencia en el que se saca el oleaje frente a la playa del Cerro.

Hs-Dm	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0-0.5	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.7%	3.8%	21.0%	30.1%	10.9%	1.7%	0.3%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	69%
0.5-1.0				0.0%	0.1%	0.8%	5.8%	12.7%	6.8%	1.0%	0.1%	0.0%					27%
1.0-1.5						0.0%	0.2%	1.9%	1.8%	0.0%							4%
1.5-2.0								0.1%	0.1%	0.0%							0%
2.0-2.5																	
>2.5																	
Total	0%	0%	0%	0%	1%	5%	27%	45%	20%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Figura 4-12 – Frecuencia media anual conjunta de altura de ola significativa y dirección media en el nodo MVD01.

Hs-Tm	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Total
0-0.5	0.3%	4.3%	17.4%	21.0%	14.5%	7.1%	2.9%	1.0%	0.3%	0.0%	0.0%	69%
0.5-1.0	0.0%	0.9%	7.7%	10.5%	6.0%	1.6%	0.3%	0.1%	0.0%	0.0%	0.0%	27%
1.0-1.5		0.0%	0.2%	2.4%	1.1%	0.2%	0.0%					4%
1.5-2.0				0.0%	0.1%	0.0%	0.0%					0%
2.0-2.5												
>2.5												
Total	0%	5%	25%	34%	22%	9%	3%	1%	0%	0%	0%	100%

Figura 4-13 – Frecuencia media anual conjunta de altura de ola significativa y período medio en el nodo MVD01.

Tm-Dm	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
3	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.8%	1.6%	1.3%	0.5%	0.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	5%
4			0.0%	0.0%	0.2%	2.4%	8.8%	8.7%	3.7%	1.2%	0.2%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%		25%
5					0.0%	1.1%	9.4%	14.4%	8.0%	1.0%	0.0%						34%
6						0.2%	5.0%	11.3%	5.0%	0.2%							22%
7						0.0%	1.6%	5.5%	1.8%	0.0%							9%
8						0.0%	0.4%	2.3%	0.4%								3%
9							0.1%	0.9%	0.1%								1%
10							0.0%	0.3%	0.0%								0%
11								0.1%	0.0%								0%
12								0.0%									0%
Total	0%	0%	0%	0%	1%	5%	27%	45%	20%	3%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	100%

Figura 4-14 – Frecuencia media anual conjunta de período y dirección medias en el nodo MVD01.

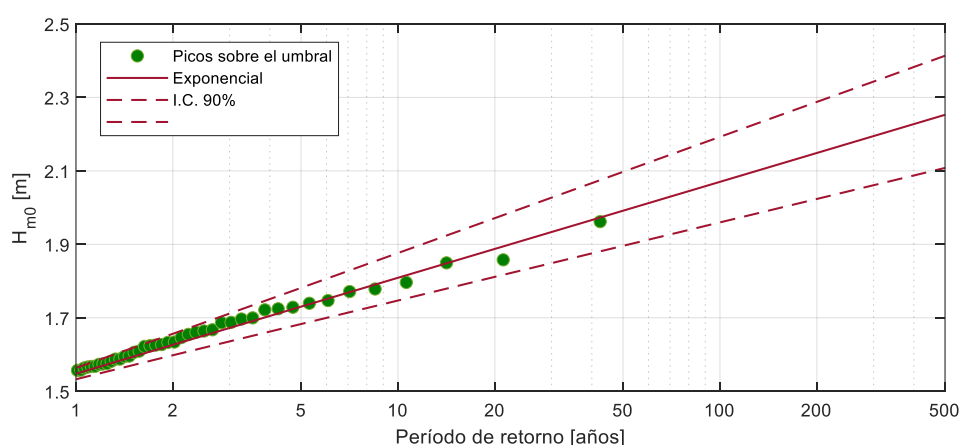


Figura 4-15 – Régimen de extremos de altura de ola significativa en el nodo MVD01.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.4.5.4. Régimen conjunto de altura de ola significativa y nivel de mar

La Figura 4-16 presenta el régimen medio anual conjunto de altura de ola significativa en el punto “MVD01” y el nivel de mar en puerto de Montevideo (referido al cero Wharton).

Hs-SL	-1.0 a -0.5	-0.5 a 0	0 a 0.1	0.5 a 1	1 a 1.5	1.5 a 2	2 a 2.5	2.5 a 3	3 a 3.5	Total
0-0.5	0.0%	0.2%	5.4%	31.4%	28.4%	3.3%	0.1%			69%
0.5-1.0		0.0%	0.7%	5.6%	12.4%	7.4%	1.1%	0.0%		27%
1.0-1.5			0.0%	0.0%	0.6%	2.0%	1.1%	0.1%	0.0%	4%
1.5-2.0					0.0%	0.0%	0.1%	0.0%	0.0%	0%
2.0-2.5										
>2.5										
Total	0%	0%	6%	37%	41%	13%	2%	0%	0%	100%

Figura 4-16 – Frecuencia media anual conjunta de altura de ola significativa en el nodo MVD01 y nivel de mar en el puerto de Montevideo (referido al 0 Wharton).

4.4.5.5. Régimen extremo de nivel de mar en playa

El nivel de mar total en playa puede diferir del nivel de mar medido en el puerto por el efecto del *set-up* de oleaje. Se aplica la siguiente metodología para estimar el régimen de extremos del nivel de mar total en playa:

1. Se utiliza la formulación de Stockdon et al. (2006)¹ para estimar la serie temporal de *set-up* en playa a partir de la serie de oleaje:

$$s = \beta_f (H_0 L_0)^{1/2}$$

en donde s es el *set-up* en playa [m], β_f es la pendiente de playa, H_0 es la altura de ola significativa en aguas profundas y L_0 es la longitud de onda en aguas profundas. El oleaje utilizado para calcular el *set-up* es la serie de oleaje obtenida en el punto. La pendiente de playa típica de la zona se obtiene de los relevamientos locales suministrados por la contraparte, utilizándose un valor uniforme igual a 3,5% para todo el arco de playa.

2. Se suma la serie horaria de nivel de mar en puerto descrita en la sección 4.4.3 a la serie de *set-up* calculada previamente, obteniéndose una serie horaria de nivel de mar total en playa.
3. Se estima el régimen de extremos de nivel de mar en puerto y nivel de mar total en playa a partir de las series horarias de estas variables, y se calcula la diferencia entre

¹ Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., & Sallenger, A. H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and runup. Coastal Engineering, 53(7), 573–588. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.12.005>

ambos regímenes extremos para distintos períodos de retorno, así como el incremento en la amplitud de los intervalos de confianza.

4. Estos incrementos en el régimen de extremos y en la amplitud de los correspondientes intervalos de confianza se suman al régimen de extremos de nivel de mar en puerto, calculado a partir de la serie de máximos anuales medidos por ANP (Figura 4-10 en sección 4.4.5.2), obteniéndose una estimación del régimen de extremos del nivel de mar total en playa que combina la información histórica de niveles de mar máximos anuales medidos en puerto con la información de oleaje y set-up calculada en este proyecto.

La Figura 4-17 presenta el régimen de extremos del nivel de mar total en playa. Se observa que el set-up aporta unos 10 cm a 15 cm a los valores extremos de nivel de mar en playa respecto a los de nivel de mar en puerto. La Tabla 4-1 resume el nivel alcanzado para distintos períodos de retorno de uso habitual en diseño.

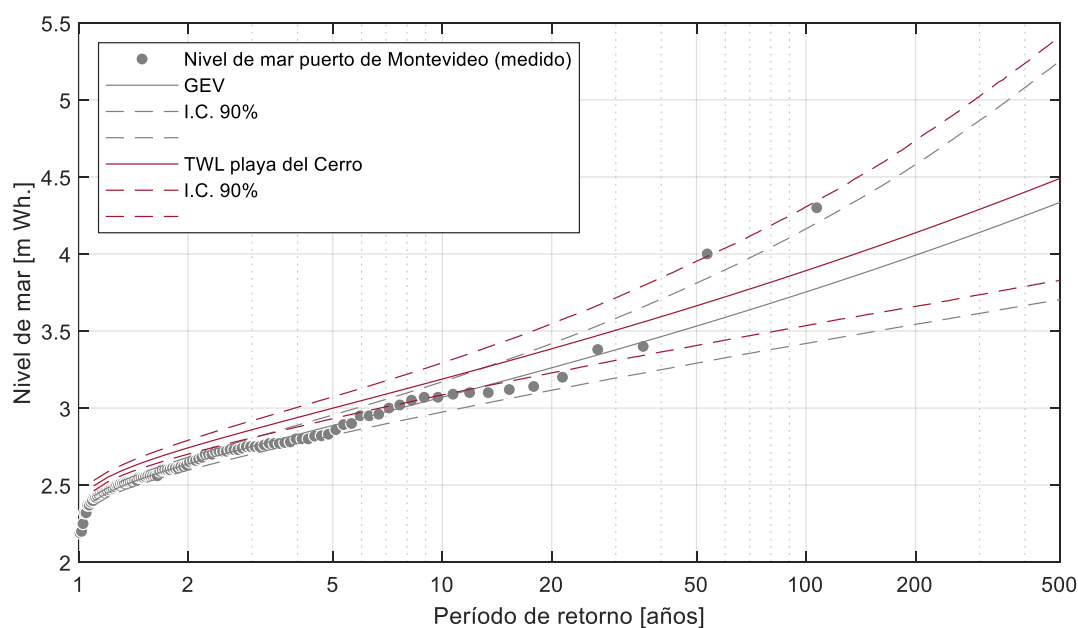


Figura 4-17 – Régimen de extremos del nivel de mar total (TWL) en playa del Cerro (en rojo), junto con el régimen de extremos del nivel de mar en el puerto de Montevideo (en gris).

Tr [años]	10	100	500
TWL [m Wh.]	3,2	3,9	4,5

Tabla 4-1: Nivel de mar total en playa (TWL) para distintos períodos de retorno seleccionados.

4.5. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LÍNEA DE COSTA

4.5.1. DATOS UTILIZADOS

Para el análisis de la evolución histórica de la línea de costa se utiliza información de fotos aéreas de alta resolución y de imágenes satelital obtenida mediante la herramienta CoastSat². En el caso de la playa del Cerro, dadas sus dimensiones, las imágenes satelitales de acceso libre utilizadas por CoastSat (misiones Landsat y Sentinel) no logran capturar correctamente la línea de costa en el tramo Este de la playa (entre las calles Vizcaya y Portugal), por lo que resulta indispensable completar el análisis de las imágenes satelitales con el análisis de las fotos aéreas. A su vez, en Montevideo existen vuelos que se remontan a 1926, por lo que el análisis de las fotos aéreas en este caso es de particular interés, ya que nos permite remontarnos a casi 100 años atrás.

4.5.2. ANÁLISIS DE LAS FOTOS AÉREAS

La Tabla 4-2 resume las fotos aéreas disponibles; dado que para muchas de las fotos no se tiene información de la fecha exacta en que fue tomada, solo se indica el año de cada foto. La Figura 4-18 presenta las ocho fotos aéreas disponibles; se observa que más allá de la variabilidad esperable en cuanto a avances y retrocesos de la línea de costa, producto del nivel de mar al momento de la foto y de la existencia o no de tormentas recientes, la línea de costa se ha mantenido estable tanto en orientación como en posición desde 1926 hasta 2017-2018, sin embargo, en las fotos de 2021 y 2022 se observa que el tramo Oeste de la playa (de Vizcaya al Oeste) rotó, con un notorio cambio de la orientación de la línea de costa en este tramo, mientras que en el tramo Este (de Vizcaya al Este) se observa una notoria disminución del ancho de playa producto del retroceso de la línea de costa, así como la aparición de manchas grises, las cuales han sido identificadas como piedra partida en la visita al sitio.

² Vos, K., Splinter, K. D., Harley, M. D., Simmons, J. A., & Turner, I. L. (2019). CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling and Software*, 122, 104528. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104528>

Año	Fuente
1926	SIG Intendencia de Montevideo
1966	IDE.uy
2000	SIG Intendencia de Montevideo
2003	SIG Intendencia de Montevideo
2007	SIG Intendencia de Montevideo
2017-2018	IDE.uy
2021	SIG Intendencia de Montevideo
2022	Ortofoto proporcionada por la contraparte

Tabla 4-2: Fotos aéreas utilizadas en el análisis de la línea de costa.

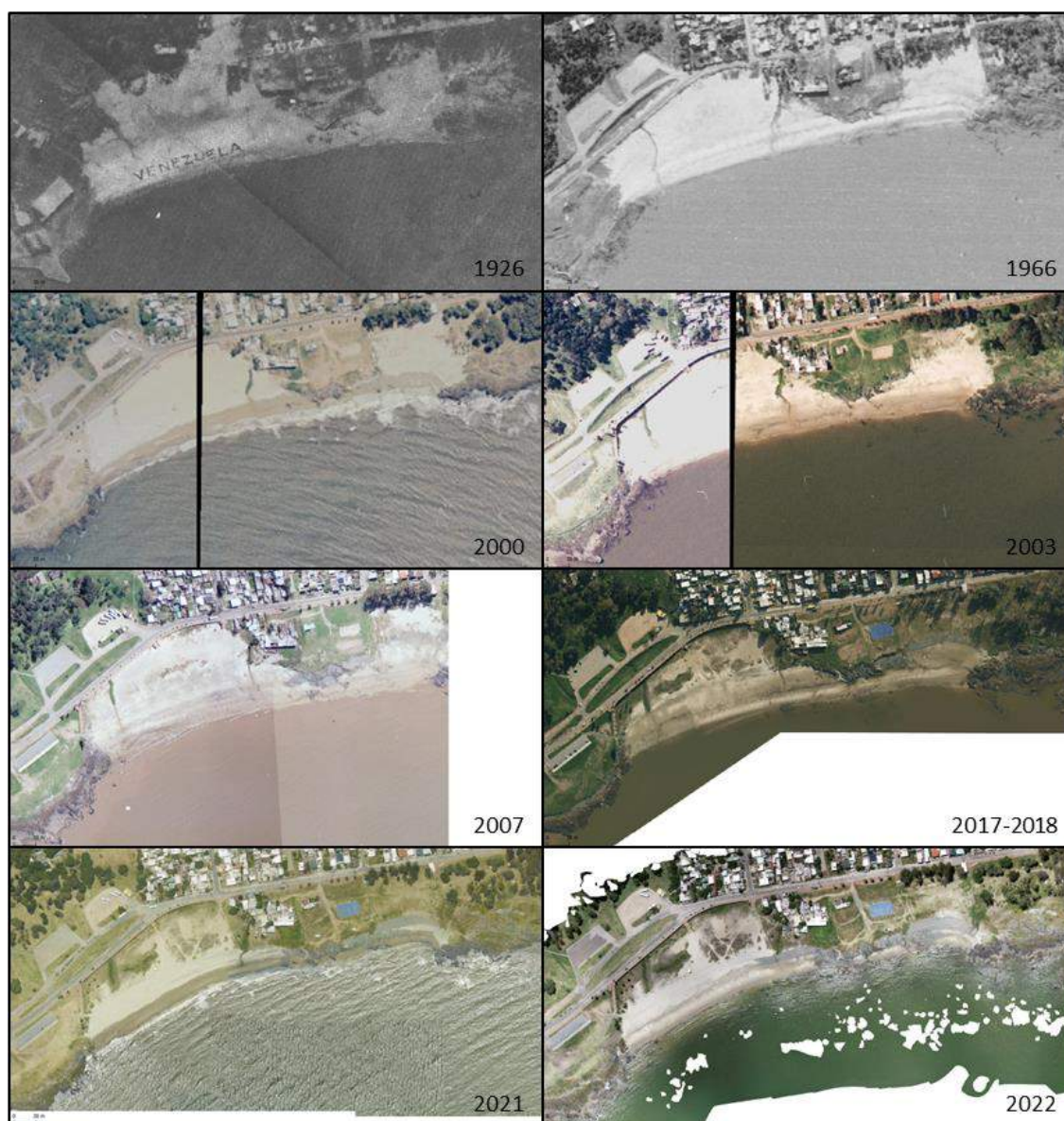


Figura 4-18: Serie de fotos aéreas de la playa del cerro.

4.5.3. ANÁLISIS DE LAS IMÁGENES SATELITALES

Para la determinación de la línea de costa a partir de imágenes satelitales de libre acceso se utiliza la herramienta CoastSat. Definida una región de interés, CoastSat descarga las imágenes satelitales de las colecciones Sentinel 2 y Landsat 5, 7, 8 y 9 desde Google Earth Engine, aumenta su resolución mediante un algoritmo de *pansharpenning*, y finalmente identifica la posición de la línea de costa en cada una de las imágenes. Una vez obtenidas

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

las líneas de costa, se definen perfiles de playa y, para cada perfil, se determina la progresiva a la que se encuentra la línea de costa para cada imagen satelital. En este caso se definieron perfiles cada 30 m en el tramo Oeste de la playa, en el cual CoastSat funciona adecuadamente para la detección de la línea de costa, totalizando 8 perfiles a lo largo de la zona de estudio (ver Figura 4-19).

Dado que tanto la georreferenciación de las imágenes satelitales como el algoritmo de identificación de la línea de costa implementado en CoastSat pueden presentar sesgos hacia el mar o hacia tierra para los distintos satélites, se realiza la siguiente corrección de sesgos en los resultados, previo a su análisis:

- Las progresivas de línea de costa provenientes del satélite Landsat 9 se corrigen con las progresivas del satélite Sentinel 2 utilizando la diferencia entre las medianas del año 2022.
- Las progresivas provenientes de los satélites Landsat 7 y Landsat 8 se corrigen con las progresivas del satélite Sentinel 2 utilizando la diferencia entre las medianas del período común 2016-2022.
- Las progresivas provenientes del satélite Landsat 5 se corrigen con las progresivas del satélite Landsat 7 (ya corregidas) utilizando la diferencia entre las medianas del período común 2000-2011.

Para cuantificar la tendencia a la erosión o acreción de la playa se procedió de la siguiente forma:

1. Se determinó la mediana anual de la progresiva de la línea de costa en cada uno de los perfiles. Esto permite evaluar tanto las tendencias de erosión o acreción en cada perfil como los posibles cambios de orientación (rotaciones) de la playa.
2. Usando la mediana anual de la progresiva en cada perfil se determinó el área total de playa y parque, definiendo un polígono limitado por el perfil 1 al Oeste, el perfil 8 al Este, la rambla al Norte y la mediana anual de la línea de costa al sur. Esto permite evaluar si ha habido ganancia o pérdida de área en la playa y los parques aledaños a lo largo del tiempo.
3. La tasa de erosión (acreción) también se cuantificó en términos de volumen de material perdido (ganado) por año en el conjunto de la playa ($m^3/año$), multiplicando el cambio de área de playa más parque en un determinado año por la altura activa del perfil, calculada como la suma de la diferencia de cota entre la berma de la playa (estimada a partir de los relevamientos de playa suministrados por la Intendencia de Montevideo y del MDT del servicio de Infraestructura de Datos Espaciales) y la

profundidad de cierre. Esta última se calcula utilizando la formulación de Nicholls et al (1996)³, la cual establece que la profundidad de cierre es:

$$h_c = 2,28H_e - 68,5 \left[\frac{H_e^2}{gT_e^2} \right];$$

en donde H_e es la altura de ola significativa excedida en promedio 12 hrs al año y T_e es el período asociado.

Este análisis se realiza sin corregir la posición de la línea de costa por efecto del nivel de mar al momento del registro de la imagen satelital. Esto se justifica en que: (a) se trabaja con la medianas anuales de las progresivas y no con las progresivas instantáneas, por lo que el resultado es asimilable a una condición de nivel medio; (b) para hacer la corrección de la progresiva por el nivel de mar es necesario tener el dato medido (no de *hindcast*) en el momento en que se tomó la imagen satelital, lo que implica que se deban descartar todas aquellas imágenes para las que no hay dato medido, con la subsecuente pérdida de información que esto implica.

En todo el análisis se usa la mediana en lugar de la media para reducir la sensibilidad de los resultados a valores de progresiva de la línea de costa particularmente altos o bajos, ya sea que estos sean reales u originados en errores del algoritmo de identificación de la línea de costa implementado en CoastSat.

La Figura 4-19 muestra la localización de los ocho perfiles analizados en el tramo Oeste de la playa del Cerro (al Oeste de playa Vizcaya), junto con la evolución de la línea de costa mediana anual desde 1985 hasta 2022. Se observa que el resultado confirma lo observado cualitativamente en el apartado anterior: entre 1985 y 2017 la línea de costa se mantiene relativamente estable, pero a partir de 2018 comienza un proceso de rotación antihorario, generando el retroceso de la línea de costa en el extremo Este del tramo de playa, y el avance de la línea de costa en el extremo Oeste del tramo. La Figura 4-20 presenta el resultado del análisis de evolución del área total de playa y parque en el tramo Oeste de la playa. Se observa que entre 1985 y 2022 el área total ha variado entre 2,05 has y 2,25 has, presentando mayor variabilidad en el período 1985-1999 que en el período 2000-2022, aunque esto puede estar asociado a la menor disponibilidad de datos satelitales en el período inicial. Se observa

³ Nicholls, R.J., Birkemeier, W.A., Hallermeier, R.J., 1996. Application of the Depth of Closure Concept, in: Coastal Engineering Proceedings. American Society of Civil Engineers, New York, NY, pp. 3874–3887. <https://doi.org/10.1061/9780784402429.299>

a su vez que en el período 2018-2022, durante el cual la línea de costa ha rotado, el área del tramo Oeste ha tenido una tendencia creciente. Por último, la Figura 4-21 presenta la anomalía en el volumen de arena del tramo Oeste de la playa, calculada respecto a la media de todo el período (nótese que por la forma de cálculo del volumen necesariamente este gráfico tiene la misma forma que el gráfico de áreas de la Figura 4-20). Se observa que el rango de variabilidad en el volumen de arena es de aprox. $\pm 5.000 \text{ m}^3$.

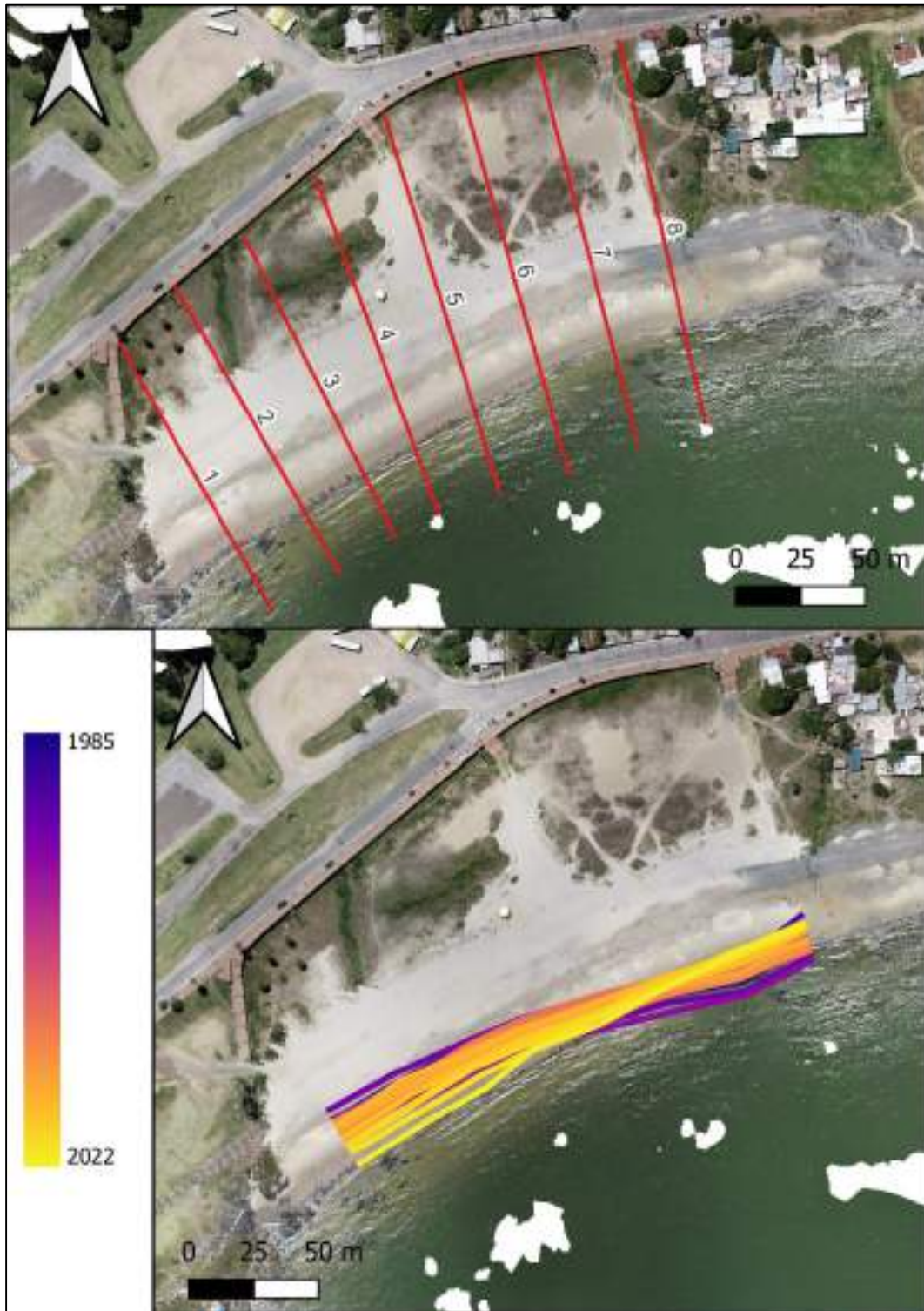


Figura 4-19 – Localización de los perfiles utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa a partir de imágenes satelitales (arriba); mediana anual de la posición de la línea de costa (abajo). Imagen de fondo: ortofoto de 2022.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

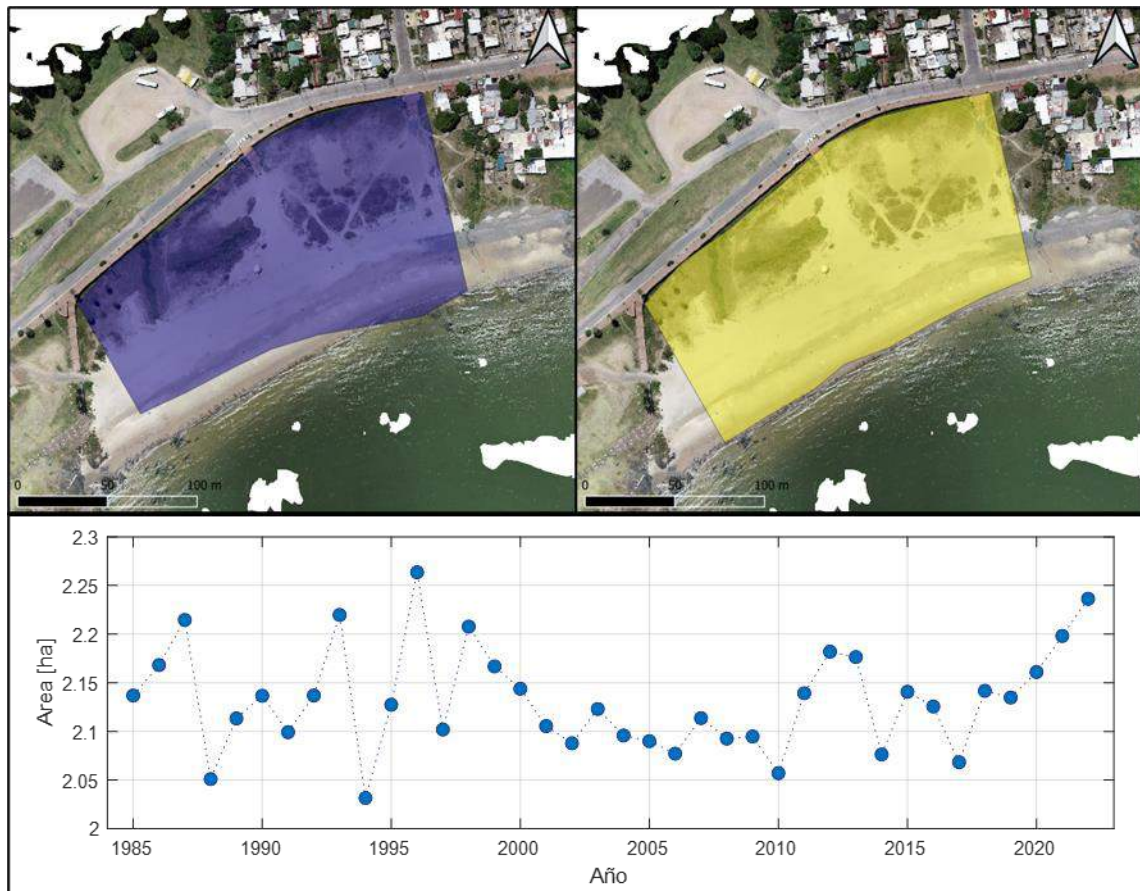


Figura 4-20 – Arriba izquierda: polígono de área de playa y parque del tramo Oeste en 1985. Arriba derecha: polígono de área de playa y parque del tramo Oeste en 2022. Abajo: evolución del área de playa y parque del tramo Oeste entre 1985 y 2022. Imagen de fondo: ortofoto de 2022.

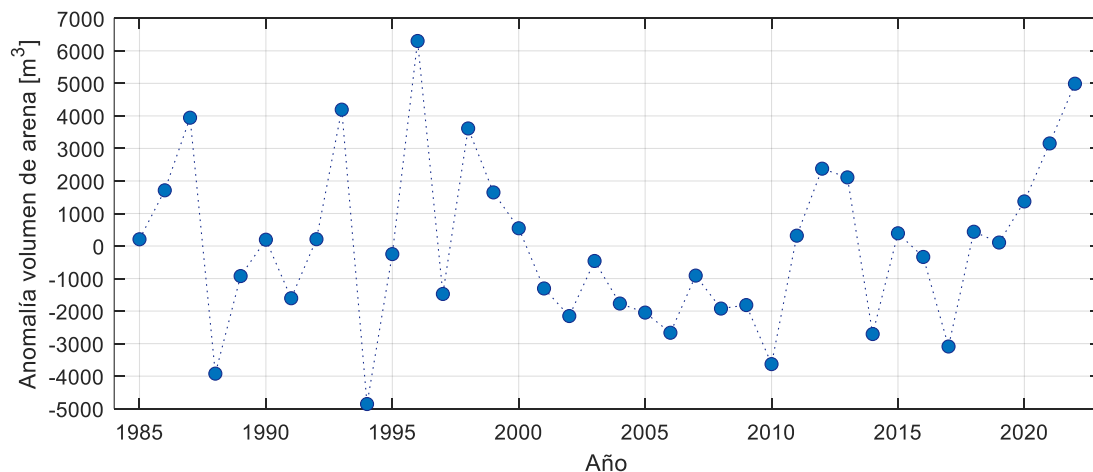


Figura 4-21 – Anomalía de volumen de arena en el tramo Oeste de la playa del Cerro, respecto al volumen medio del período.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.5.4. ANÁLISIS Y CONSIDERACIONES RESPECTO A LA ROTACIÓN DE LA PLAYA

4.5.4.1. Evolución histórica de la rotación en playa del Cerro y otras playas cercanas

Del análisis de las líneas de costa medianas anuales (Figura 4-19) y la evolución temporal del área de playa (Figura 4-20), podría concluirse que el inicio del proceso de rotación de la playa se da en 2017, manteniéndose hasta 2022. Para analizar esto con más detalle, en primer lugar, se compara la evolución temporal de la progresiva de la línea de costa mediana anual en dos perfiles de la playa del Cerro (Figura 4-22): uno correspondiente al extremo Oeste del tramo analizado (perfil 1; ver Figura 4-19) y otro correspondiente al extremo Este (perfil 8; ver Figura 4-19). Se observa que, si bien podría considerarse que el avance sistemático de la línea de costa en el perfil 1 comienza en 2017, el retroceso sistemático del perfil 8 parece iniciarse con anterioridad, en torno a 2011.

La Figura 4-23 y la Figura 4-24 presentan el análisis de evolución de la mediana anual de la línea de costa y la evolución temporal de la línea de costa en dos perfiles extremos para las playas de Pta. Yeguas y Del Nacional, respectivamente. De estas figuras se desprende que:

- (a) ambas playas han rotado; la playa Del Nacional ha rotado en sentido antihorario (mismo sentido de rotación que la playa del Cerro), mientras que la playa de Pta. Yeguas ha rotado en sentido horario;
- (b) en el caso de Pta. Yeguas la rotación se da por un avance de la línea de costa en el extremo Este de la playa y un retroceso en el extremo Oeste, mientras que en la playa Del Nacional la línea de costa ha avanzado en toda la playa, y la rotación se produce porque es mayor el avance de la línea de costa en el extremo Oeste de la playa que el del extremo Este;
- (c) para ambas playas el proceso de rotación pareciera iniciarse en torno a 2010.

De estos resultados se desprende que el proceso de cambio de la línea de costa observado en la playa del Cerro no es exclusivo de esta, sino que es general en al menos todas las playas ubicadas entre Pta. Yegua y la bahía, y que el mismo parecería iniciarse en torno a 2010.

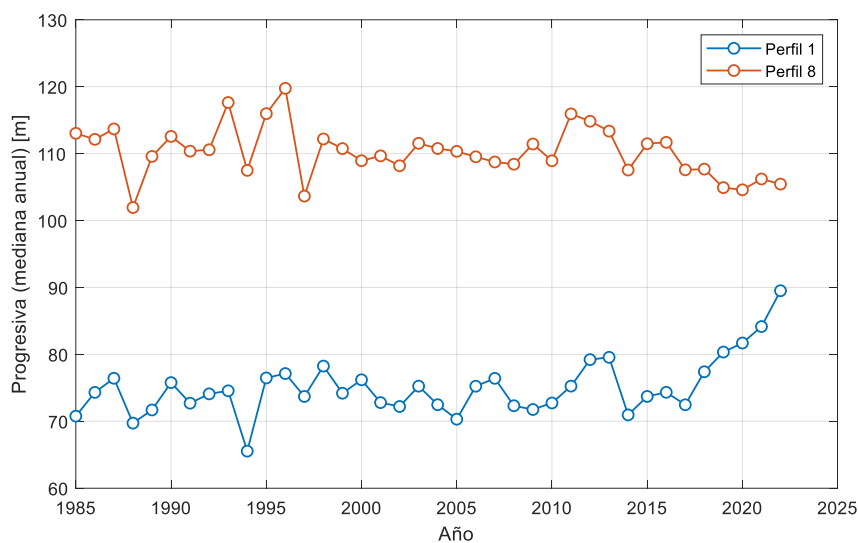


Figura 4-22 – Evolución de la progresiva en los perfiles 1 y 8 de la playa del Cerro (ver Figura 4-19).

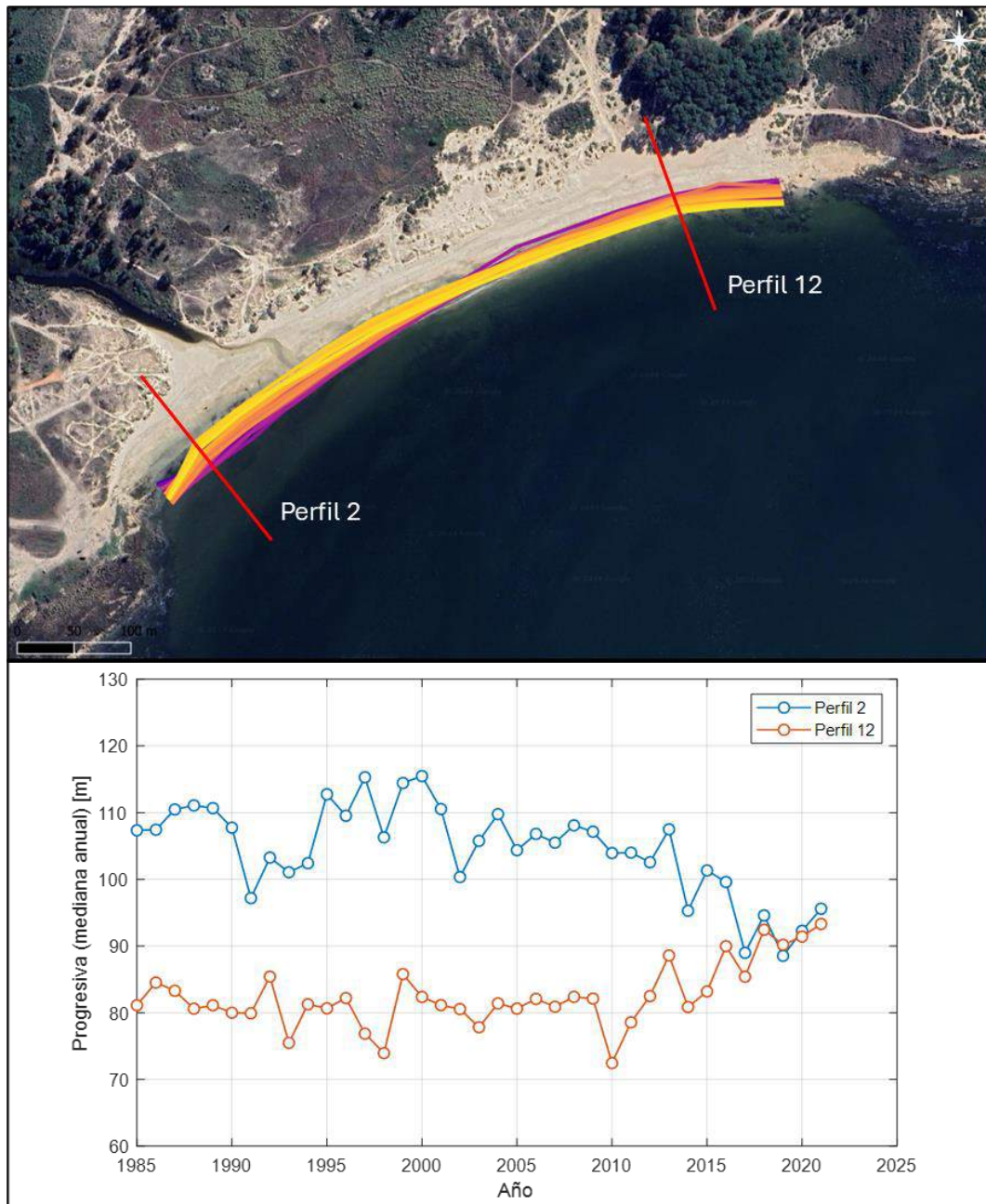


Figura 4-23 – Evolución línea de costa en playa de Punta Yeguas (arriba) y evolución de la progresiva de la línea de costa en los perfiles 2 y 12 (abajo).

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

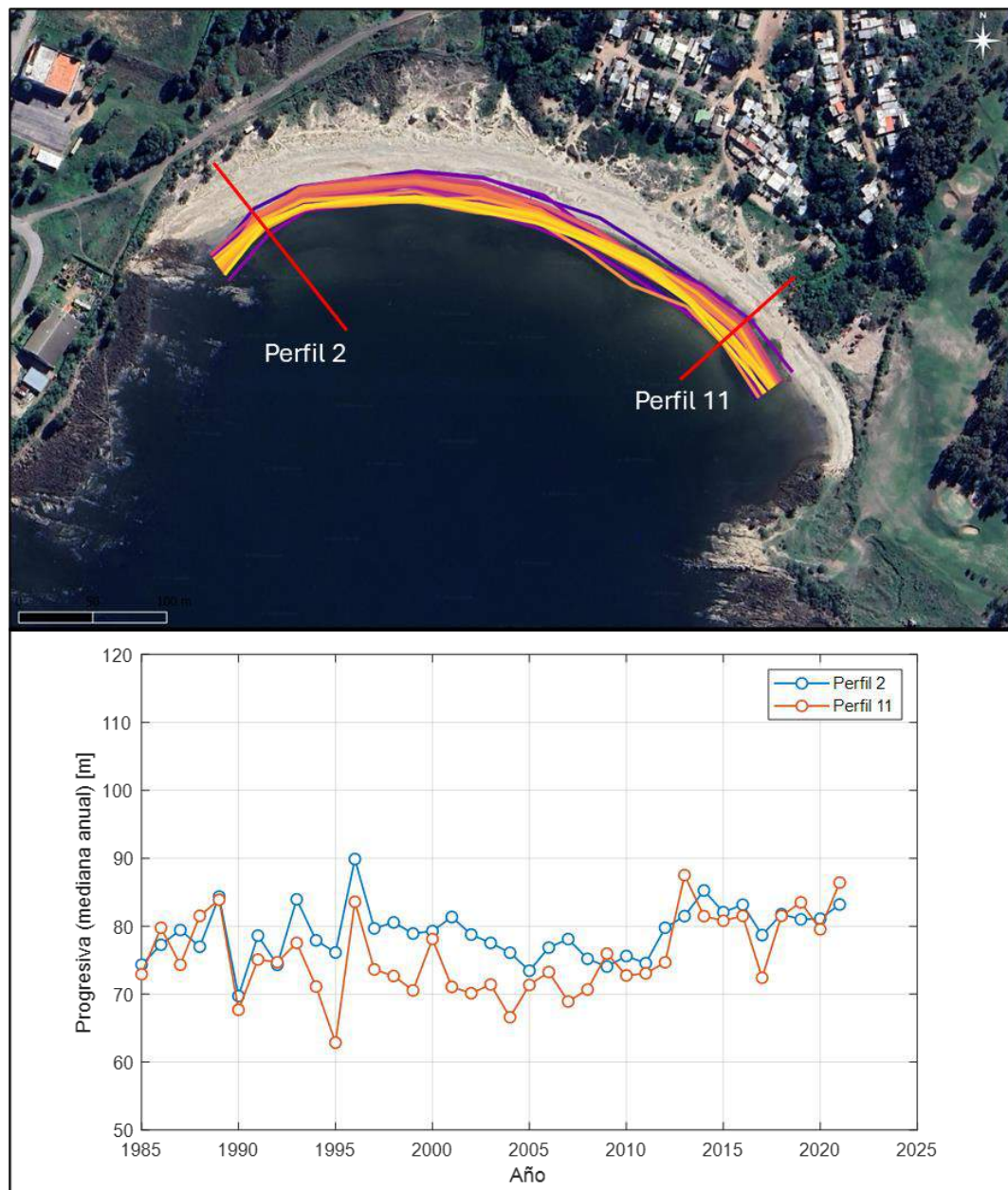


Figura 4-24 – Evolución línea de costa en playa Del Nacional (arriba) y evolución de la progresiva de la línea de costa en los perfiles 2 y 11 (abajo).

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.5.4.2. Relación entre la rotación de la playa del Cerro y los dragados realizados para la terminal regasificadora

La Figura 4-25 presenta los cuatro relevamientos batimétricos de las zonas dragadas en el marco del proyecto de la terminal regasificadora, disponibles en el SIG de ANP. Estos relevamientos corresponden a 2014 (algunos meses después de iniciados los dragados para la obra, en el segundo semestre de 2013), 2015, 2016 y 2019. Los relevamientos de 2015 y 2016 son los que presentan dragados de mayor profundidad y corresponden al período en que la obra estaba activa y se estaban ejecutando las actividades de dragado; el relevamiento de 2019 muestra una disminución muy importante en la profundidad de las áreas dragadas, producto de la sedimentación ocurrida tras el abandono de las obras. Dadas las tasas de sedimentación observadas y la ausencia de mantenimiento, se asume que al día de hoy los dragados deben haberse sedimentado casi en su totalidad, aunque sería deseable disponer de batimetría actualizadas de la zona.

De comprar la información contenida en la Figura 4-25 con la de la Figura 4-22, se desprende que la cronología de los dragados no coincide con los períodos en los que se observaron los mayores cambios en la playa del Cerro: mientras que la afectación al fondo ocurrió mayoritariamente entre 2014 y 2018, los cambios en la playa del Cerro han sido más notorios a partir de 2017 y continúan hasta la fecha.

La no correlación entre los dragados y los cambios observados en la playa del Cerro (y el resto de las playas analizadas) es coherente con los resultados obtenidos previamente por el IMFIA mediante modelación numérica. En el “Estudio de los posibles efectos morfológicos de las obras asociadas a la Terminal sobre la zona costera cercana a la Terminal”, realizado por el IMFIA para Gas Sayago S.A., se estudió el efecto del dragado sobre el clima de olas y de corrientes, utilizando para ello sendos modelos numéricos. En dicho estudio se concluye que el dragado no afecta el clima de olas y corrientes frente a la playa del Cerro.

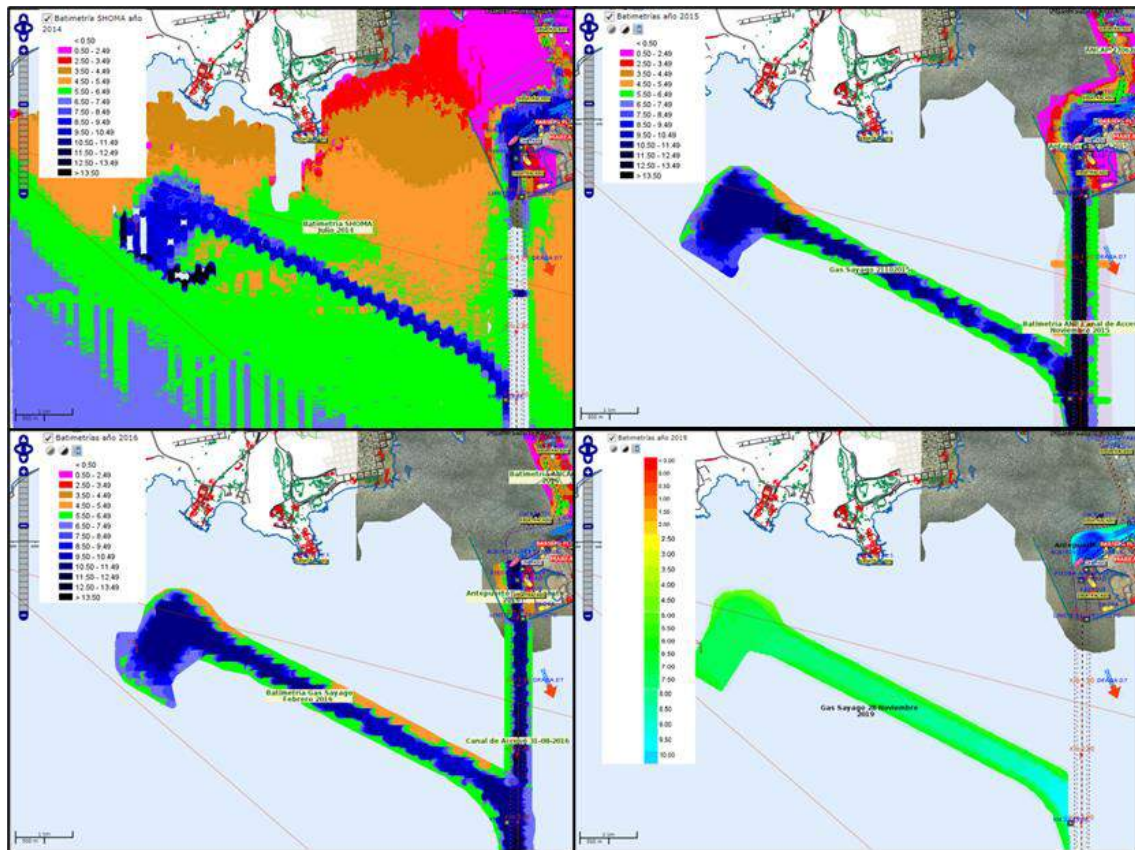


Figura 4-25 – Batimetrías del canal de la terminal regasificadora disponibles en el sistema de información geográfica en línea de ANP. Batimetrías de 2014 (arriba izq.), 2015 (arriba derecha), 2016 (abajo izquierda) y 2019 (abajo derecha).

4.5.4.3. Relación entre la rotación de la playa del Cerro y el clima de olas

La Figura 4-26 presenta la dirección media anual de la energía del oleaje en el nodo MVD01, la cual varía entre 161° y casi 168° , siendo la media histórica algo menor a 164° . Se observa que la tendencia reciente de la dirección media de la energía (entre 2015 y 2020) ha sido a rotar en sentido horario (ciclo de aumento de la dirección media), contrario al sentido de rotación observado en la playa del Cerro. Se tiene por tanto que si bien la dirección media de la energía del oleaje es coherente con la orientación histórica de la playa (ver Figura 4-32 en la sección 4.7), no surge de que haya habido un cambio en el clima de ola que explique la rotación reciente de la playa.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

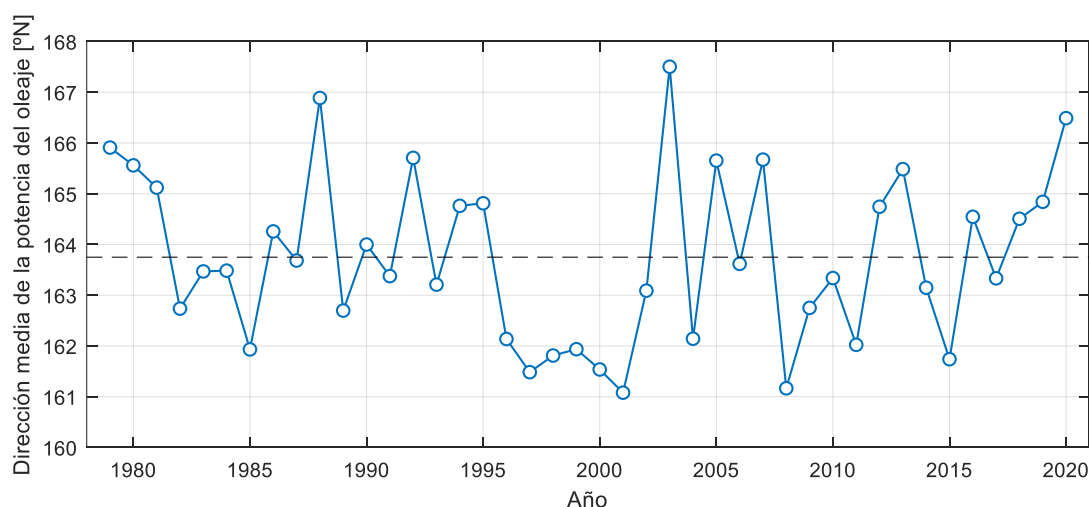


Figura 4-26 – Dirección media anual de la energía de oleaje en el nodo MVD01, ubicado frente a la playa del Cerro. La línea punteada indica la media de todo el período (aprox. 164°).

4.5.4.4. Respecto a la ola generada por el tránsito del ferry de la empresa Buquebus

En conversaciones con la contraparte se ha indicado que existe inquietud respecto a la posibilidad de que la playa esté siendo afectada por las olas producidas por el tránsito de los barcos de alta velocidad (ferries), y en particular por las olas producidas por el tránsito del barco de Buquebus.

En primer lugar, se debe señalar que, a diferencia de lo que ocurre con los barcos monocasco tradicionales, no existen formulaciones de base empírica que permitan la estimación de la ola generada por el tránsito del barco de forma simplificada. De la revisión de la bibliografía⁴ surge que la aproximación habitual para estimar este oleaje es: (1) medir la ola en sitio con sensores de presión, y (2) recurrir a modelos no lineales de generación y propagación de ondas, forzados mediante el tránsito del barco, los cuales requieren para su implementación conocer las características del casco, así como la velocidad y ruta del buque, y deben ser siempre validados con datos medidos en sitio. En función de esto, se entiende que la modelación del oleaje generado por el tránsito de ferries no es abordable en el marco de este trabajo.

⁴ Ver e.g. Torsvik, T., Soomere, T., 2009. Modeling of Long Waves from High Speed Ferries in Coastal Waters. J. Coast. Res. SI 56, 1075–1079.

En sita de lo anterior, se procedió a realizar una evaluación visual de las olas que llegaban a la playa del Cerro tras el tránsito del barco de Buquebus, y a evaluar su peso relativo en comparación con el clima de ola estimado para el sitio.

De la visita al sitio, se estima que cada tránsito del barco genera unas 5 olas de altura de ola 1 m aproximadamente. Esto implica un total de 7.300 olas por año.

Por otro lado, asumiendo distribución de Rayleigh para las olas individuales dentro de cada estado de mar, y considerando el régimen medio de oleaje descrito en las secciones previas, se tiene que en un año medio alcanzan la playa aprox. 6,4 millones de olas individuales, de las cuales unas 100.000 tienen altura de ola igual o mayor a 1 m, y 8.000 de estas tienen altura de ola mayor o igual a 2,5 m.

En función de estos resultados se entiende que el efecto de las olas generadas por el tránsito del barco de Buquebus sobre la playa es limitado, dado su poco peso relativo en comparación con el clima de olas en el sitio. De todas formas, se sugiere incorporar instrumentos que permitan medir la ola de los barcos en caso de procederse a medir el oleaje en la zona, a fin de contar con una evaluación cuantitativa rigurosa que valide este resultado preliminar.

4.6. ESTIMACIÓN DE LA VARIABILIDAD A CORTO PLAZO

La variabilidad a corto plazo de la línea de costa caracterizada en este apartado incluye el avance y retroceso del perfil por efecto de tormentas y períodos de calma y el ciclo anual de erosión y acreción de playa, y deja por fuera la variabilidad interanual y las tendencias a largo plazo caracterizadas en el apartado anterior.

4.6.1. CICLO MEDIO ANUAL

La Figura 4-27 presenta el ciclo medio anual de la posición de la línea de costa para la playa del Cerro. Se observa que el comportamiento de la playa es relativamente atípico, con un máximo avance de la línea de costa en Agosto, y un máximo retroceso en Junio. La amplitud del ciclo medio anual es aprox. 5 m (10 m desde el máximo retroceso hasta el máximo avance).

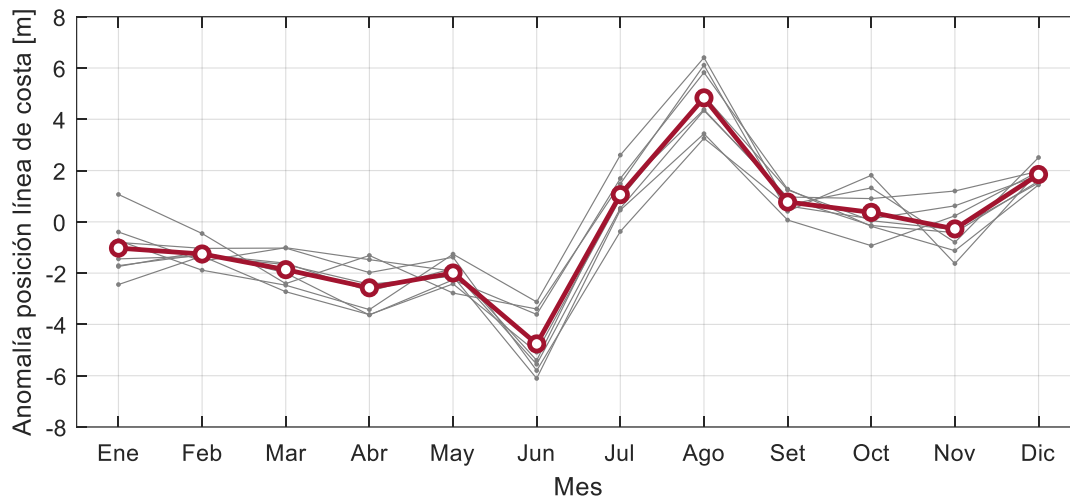


Figura 4-27: Ciclo medio anual de avance y retroceso de la línea de costa obtenido a partir del análisis de las imágenes satelitales para el tramo Oeste de la playa.

4.6.2. RETROCESO POR EFECTO DE TORMENTAS EXTREMAS

La erosión producida por tormentas de 10 y 100 años de período de retorno se estima utilizando el modelo X-Beach, en su versión 1D (perfil de playa), forzado con estados de mar representativos de condiciones extremas correspondientes al nodo MVD01.

La Figura 4-16 muestra que existe una fuerte correlación entre la altura de ola significativa y el nivel de mar en el nodo MVD01, aunque se ve que las variables no están 100% correlacionadas (i.e. pueden ocurrir eventos extremos de oleaje con niveles que, si bien son severos, no necesariamente son extremos). Para el análisis de la erosión durante eventos de tormenta se opta por trabajar bajo la hipótesis conservadora de que ambas variables están totalmente correlacionadas (i.e. el evento de 100 años de período de retorno de oleaje se asume concomitante con el evento de 100 años de período de retorno de nivel de mar).

La Tabla 4-3 presenta las dos combinaciones definidas para forzar el modelo de evolución del perfil de playa. Para la definición de las tormentas se asume:

- que la tormenta dura dos días y que tiene forma triangular con igual duración del tramo ascendente que el descendente,
- que el máximo de la altura de ola significativa y del nivel de mar son simultáneos,
- que los valores al inicio y fin de la tormenta para estas dos variables son 0,8 m y +1,0 m Wh., respectivamente,

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

- que el periodo medio espectral del oleaje (T_m) es 8 s, constante a lo largo de toda la tormenta,
- que el oleaje incide de forma normal a la playa durante toda la tormenta.

El modelo X-Beach se corrió para dos perfiles de playa (ver Figura 4-28), cuya topo-batimetría fue definida a partir de la información proporcionada por la Intendencia de Montevideo. Para cada perfil y cada evento de tormenta simulado, se calcula la distancia máxima hasta la que llega la erosión de playa, medida desde la línea de costa inicial. La Figura 4-29 presenta a modo de ejemplo el resultado que se obtiene para el Perfil 1 con la tormenta de 10 años de período de retorno.

La Tabla 4-4 resume los resultados obtenidos con las simulaciones de X-Beach. Se observa que la máxima distancia que alcanza la erosión de playa en 70 m y 80 m para 10 y 100 años de período de retorno, respectivamente. Este mismo resultado se presenta de forma gráfica en la Figura 4-30, en donde se señala hasta dónde llegaría la erosión de playa en cada caso, tomando de referencia la línea de costa mediana de 2022.

Cabe señalar que en principio los resultados obtenidos son conservadores dado que asumen correlación total entre el nivel de mar y la altura de ola significativa, y que el modelo no tiene en cuenta la resistencia adicional a la erosión que se tiene en las partes del perfil vegetadas.

Período de retorno (T_r)	Hm0 [m]	Nivel de mar [m Wharton]
10 años	1,8	+3,1
100 años	2,1	+3,8

Tabla 4-3: Combinaciones de altura de ola significativa y nivel de mar de 10 y 100 años de período de retorno seleccionadas para el análisis de erosión del perfil de playa.

Período de retorno (T_r)	Distancia máxima que alcanza la erosión [m]
10 años	70
100 años	80

Tabla 4-4: Distancia hasta la que se tiene erosión, medida desde la línea de costa inicial.



Figura 4-28 – Perfiles para los que se corrió el modelo X-Beach.

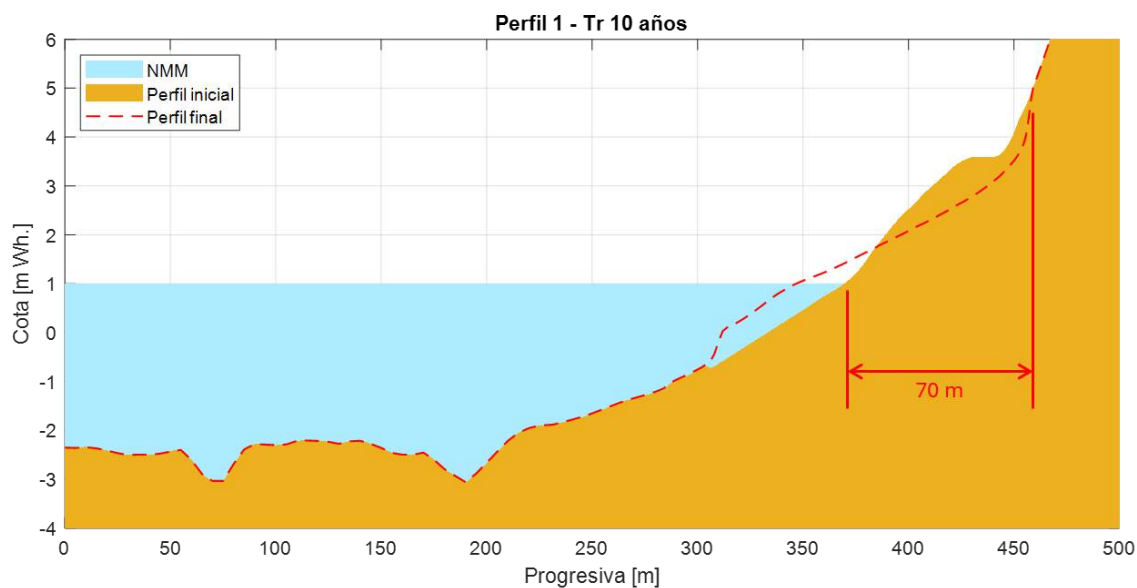


Figura 4-29 – Ejemplo de cálculo de la máxima distancia de erosión a partir de los resultados de X-Beach: perfil 1 para tormenta de 10 años de período de retorno.



Figura 4-30 – Máxima distancia que alcanza la erosión de playa para eventos de 10 y 100 años de período de retorno (en amarillo y rojo respectivamente).

4.7. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Dado el tamaño de la playa del Cerro, para el cálculo del transporte litoral se considera un único perfil representativo del tramo central de la playa (ver Figura 4-32), utilizando para ello la fórmula del CERC:

$$Q_{cerc} = k_{cerc} c_g H_b^2 \sin 2\alpha_{bs}$$

usando el coeficiente de calibración k_{cerc} propuesto por Mil-Homens et al. (2013)⁵:

$$k_{cerc} = \left[\left(2232.7 \left(\frac{H_b}{L_o} \right)^{1.45} + 4.505 \right) \left(16 \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right) (1 - p) \right) \right]^{-1}$$

en donde α_{bs} es el ángulo en la rompiente relativo a la costa (ver Figura 4-31), H_b es la altura de ola en la rompiente, c_g es la celeridad de grupo en la rompiente, L_o es la longitud de onda en aguas profundas, ρ_s y ρ_w son la densidad de la arena y del agua, respectivamente, y p es la porosidad de la arena. Para el cálculo de las características del oleaje en la rompiente se propaga el oleaje desde el nodo MVD01 (ver Figura 4-11) hasta la rompiente mediante ley de Snell, considerando como criterio de rotura la relación $H_b/h = 0,6$.

Según la convención de ángulos utilizada, el sentido del transporte litoral positivo (negativo) corresponde a transporte hacia la derecha (izquierda) para un observador que esté parado en la playa mirando hacia el mar.

Para la definición de la orientación de la línea de costa a usar en el cálculo del transporte litoral se utilizan las líneas de costa satelitales del período previo al inicio de la rotación de la playa (ver Figura 4-32).

La Figura 4-33 muestra el transporte litoral potencial neto anual estimado para el período 1979-2020. El transporte neto anual varía entre -20.000 m³/año y +20.000 m³/año, siendo la media histórica aproximadamente cero (i.e. transporte litoral neto nulo).

⁵ Mil-Homens, J., Ranasinghe, R., van Thiel de Vries, J.S.M., Stive, M.J.F., 2013. Re-evaluation and improvement of three commonly used bulk longshore sediment transport formulas. Coast. Eng. 75, 29–39. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2013.01.004>

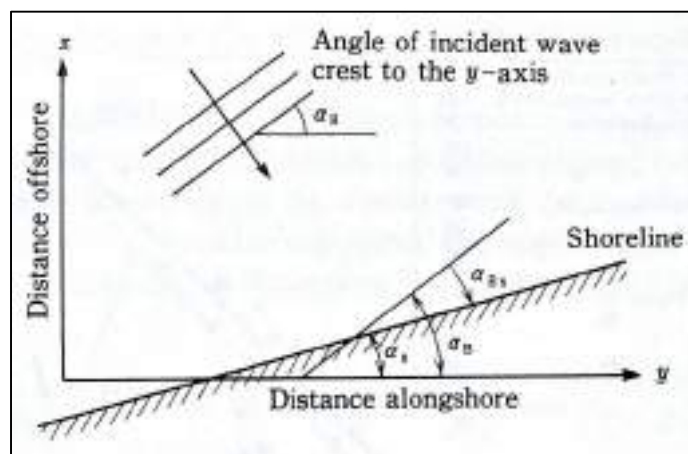


Figura 4-31 – Convención de ángulos (tomado de figura 3.2 de Horikawa 1988 Part IV⁶).

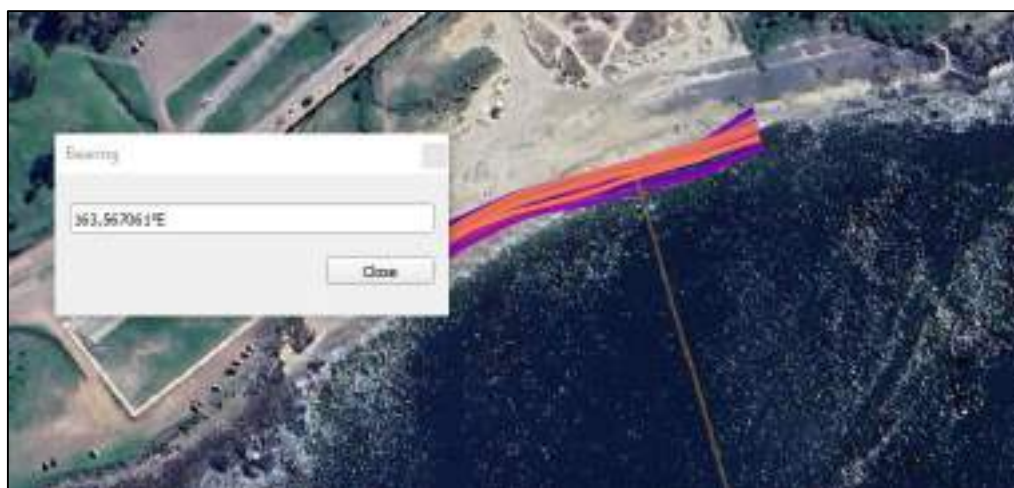


Figura 4-32 – Identificación de la dirección normal a la costa en el tramo central de la playa del Cerro, utilizando las líneas de costa previas a 2013.

⁶ Horikawa, Kiyoshi, ed. 1988. Nearshore Dynamics and Coastal Processes. Theory, Measurement, and Predictive Models. University of Tokyo Press.

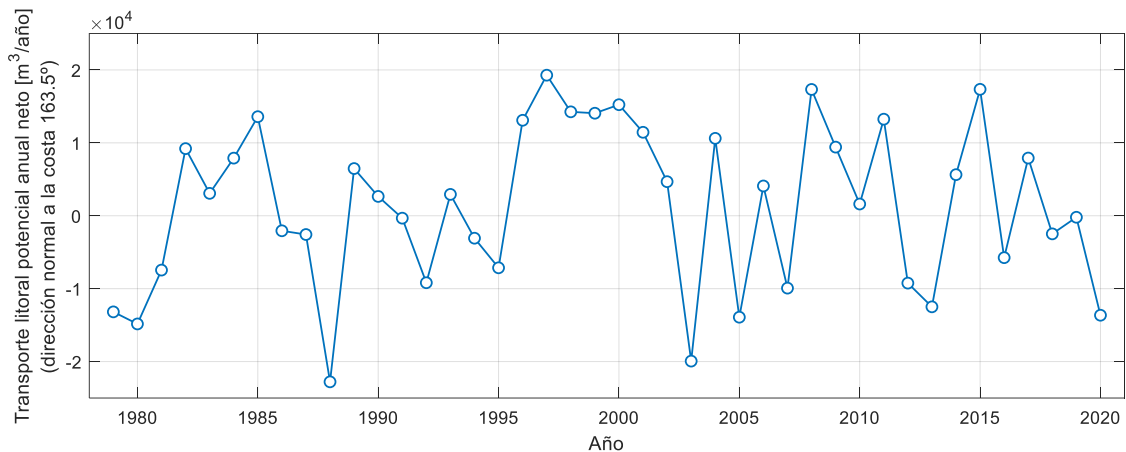


Figura 4-33 - Transporte litoral neto anual estimado para la playa del Cerro.

4.8. RESUMEN DE SITUACIÓN ACTUAL (LÍNEA BASE)

De los resultados previos, se desprende que en los últimos años la playa ha rotado, perdiendo arena de su tramo Este para acumularla en su tramo Oeste. Esto no ha implicado una pérdida de arena del sistema, sino una redistribución de la arena disponible. Sin embargo, una consecuencia inmediata de esta rotación es la pérdida del valor recreativo del tramo Este de la playa por la afloración de rocas (piedra partida).

No se ha podido encontrar el origen de esta rotación. La misma no se explica por la variabilidad natural del clima de olas, y tanto los estudios previos como la cronología de los cambios observados indican que los mismos no se originan en los dragados realizados en el marco de las obras de la terminal regasificadora. A modo de contexto se han analizado otras playas de la zona, encontrándose que todas ellas han presentado rotaciones de la línea de costa originadas en torno al año 2010.

En situación actual se tiene que el nivel de mar en playa no alcanza a la infraestructura ubicada en torno a la playa (viviendas, rambla, estacionamientos, cancha), aunque debe señalarse que las viviendas ubicadas en primera línea frente al mar, al sur de la rambla, sí podrían ser alcanzadas por el run-up del oleaje (ver Figura 4-34). En cuanto a la erosión de playas, se observa que el ancho de la playa es tal que los eventos extremos de erosión no alcanzan a amenazar la rambla o los estacionamientos. Las viviendas ubicadas al sur de la rambla sí podrían estar amenazadas por los eventos extremos de erosión, aunque habría que

verificar si las mismas están fundadas sobre arena o sobre la roca, extremo para el cual no estarían amenazadas por la erosión (ver Figura 4-35).



Figura 4-34 – Viviendas potencialmente afectadas por el run-up de oleaje durante eventos extremos.



Figura 4-35 – Viviendas potencialmente afectadas por la erosión de playa durante eventos extremos.

4.9. PROYECCIÓN DE EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

De los estudios realizados por IH-Cantabria para la costa de Uruguay⁷, así como de Jackson et al. (2022)⁸ se desprende que el principal cambio en los agentes marítimos asociados al cambio climático es el aumento del nivel medio del mar, siendo los cambios en las mareas (meteorológica y astronómica) y en el oleaje de segundo orden respecto a aquel. A su vez, de los estudios presentados en las secciones anteriores surge que el tramo de costa analizado no tiene déficit de sedimentos. Por lo tanto, para la proyección de la evolución de la línea de costa a mediano y largo plazo se considerará únicamente el retroceso de la línea

⁷ IH-Cantabria. Desarrollo de herramientas tecnológicas para evaluar los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay. D3.2: proyecciones de cambio climático del oleaje y residuo del nivel del mar en Uruguay. Proyecciones regionales del nivel medio del mar en Uruguay. https://www.gub.uy/ministerio-ambiente/sites/ministerio-ambiente/files/2020-08/Proyecciones%20de%20cambio%20clim%C3%A1tico%20del%20oleaje%20y%20residuo%20del%20nivel%20del%20mar%20en%20Uruguay_0.pdf

⁸ Jackson, M., Fossati, M., & Solari, S. (2022). Sea Levels Dynamical Downscaling and Climate Change Projections at the Uruguayan Coast. *Frontiers in Marine Science*, 9(March), 1–15. <https://doi.org/10.3389/fmars.2022.846396>

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

de costa por redistribución de los sedimentos en el perfil de playa, producto del aumento del nivel medio del mar.

Siguiendo lo establecido en los términos de referencia del proyecto, se trabaja con las proyecciones de aumento del nivel medio del mar correspondientes al escenario RCP 8.5. La Figura 4-36 superpone la evolución reciente del nivel medio del mar medido en Montevideo (datos de ANP) con la proyección de aumento del nivel medio del mar incluida en el informe de IH-Cantabria.

Para las proyecciones de la evolución de la línea de costa a futuro se consideran dos horizontes temporales: 2050 y 2075. A su vez, a efecto de estas proyecciones al horizonte 2050 se le asocia un aumento de nivel medio del mar de 20 cm respecto al nivel medio actual, mientras que al horizonte 2075 se le asocia un aumento de 40 cm. Cabe señalar que estas proyecciones son coherentes con las últimas proyecciones regionales incluidas en el IPCC AR6⁹.

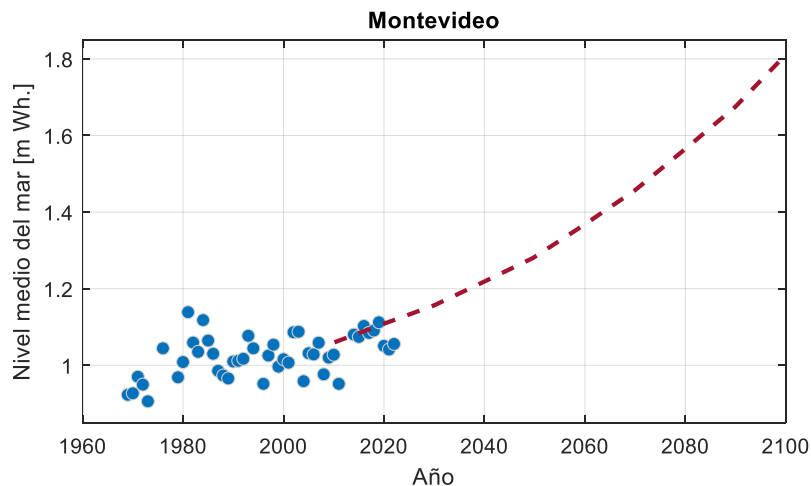


Figura 4-36 – Superposición de los datos de nivel medio anual medido en Montevideo por ANP y proyección del aumento del nivel medio del mar para el escenario RCP8.5 informada por IH-Cantabria para la costa de Uruguay.

⁹ Ver herramienta en línea: <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>

4.9.1. PROYECCIÓN DEL RETROCESO POR AUMENTO DEL NIVEL MEDIO DEL MAR

El aumento del nivel medio del mar produce una redistribución de los sedimentos en el perfil de playa, el cual típicamente resulta en un retroceso del perfil, sin afectar la forma del mismo, si existe suficiente disponibilidad de sedimentos (por ejemplo, en el caso de un perfil con duna que sirva de fuente de sedimentos), o en el descenso del perfil cuando se tiene un revestimiento, barranco o muro costero que limite el suministro de sedimentos desde tierra.

Para calcular el retroceso del perfil (o su descenso en caso de perfiles en que el retroceso esté limitado, por ejemplo, por la presencia de roca) se utiliza el modelo ShoreTrans¹⁰. Éste es un modelo sencillo de traslación del perfil de playa basado en reglas, que utiliza el perfil de playa medido (no una parametrización o un perfil simplificado) para estimar el cambio en la línea de costa resultante del aumento del nivel medio del mar de forma realista. Los perfiles de playa analizados son los mismos que se usaron para correr el modelo X-Beach (ver Figura 4-28 en sección 4.6.2), los cuales se construyeron combinando la información topobatemétrica proporcionada por la Intendencia de Montevideo. La Figura 4-37 presenta un ejemplo de aplicación del modelo ShoreTrans al perfil 1.

Los resultados obtenidos con ShoreTrans indican que un aumento de 20 cm (40 cm) del NMM implicaría un retroceso de 7 m (14 m) de la línea de costa. La Figura 4-38 presenta estos resultados de forma gráfica, trasladando 7 m y 14 m la posición de la línea de costa obtenida con las imágenes satelitales de 2022.

Por último, se calculó el retroceso de la línea de costa para aumentos del nivel medio del mar de hasta 1 m. El resultado obtenido se presenta en la Figura 4-39, en donde se observa que un aumento del NMM de entre 60 cm y 1 m (en el rango de lo proyectado para fin de siglo en el escenario RCP 8.5), implicaría un retroceso de la línea de costa de entre 20 m y 30 m.

¹⁰ McCarroll, R. J., Masselink, G., Valiente, N. G., Scott, T., Wiggins, M., Kirby, J. A., & Davidson, M. (2021). A rules-based shoreface translation and sediment budgeting tool for estimating coastal change: ShoreTrans. *Marine Geology*, 435, 106466. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2021.106466>

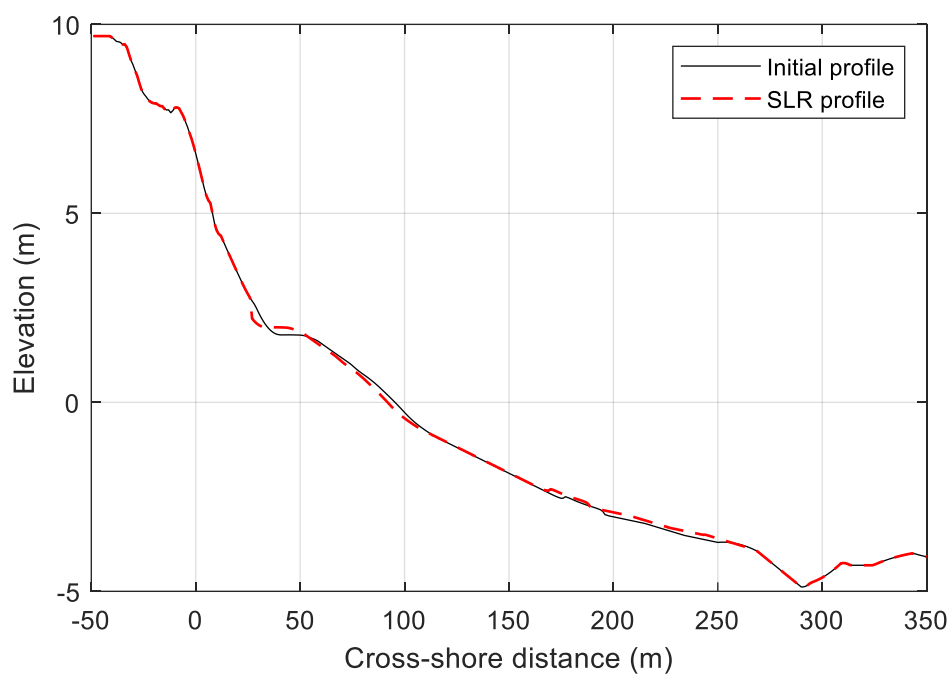


Figura 4-37 – Ejemplo de la aplicación del modelo ShoreTrans al perfil 1, considerando un aumento del nivel medio del mar de 20 cm.



Figura 4-38 – Retroceso esperable de la línea de costa por efecto de un aumento del nivel medio del mar de 20 cm y 40 cm, calculado con el modelo ShoreTrans.

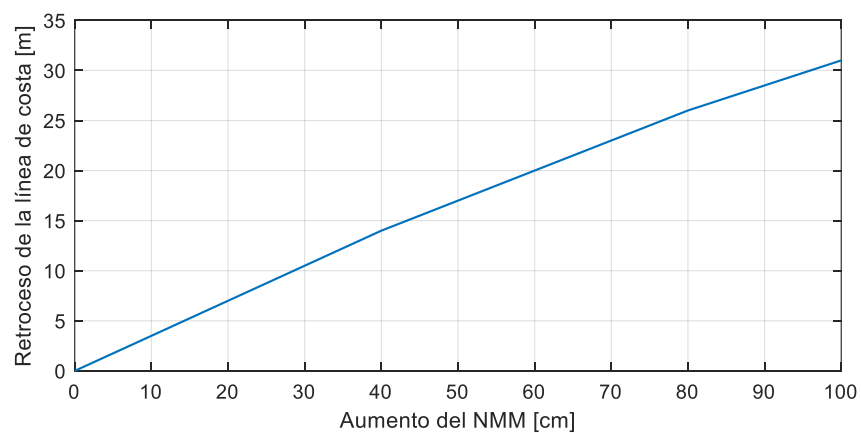


Figura 4-39 – Evolución del retroceso de la línea de costa en función del aumento del Nivel Medio del Mar (NMM).

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.10. DIAGNÓSTICO DE AMENAZAS DE INUNDACIÓN COSTERA Y EROSIÓN DE PLAYAS

4.10.1. AMENAZA POR INUNDACIÓN COSTERA

Para el cálculo de las áreas inundadas por agentes marítimos se utilizan los resultados de nivel de mar total en playa obtenidos en la sección 4.4.5.5, y se determinan las áreas inundadas bajo las siguientes hipótesis:

- No se consideran efectos dinámicos en la propagación de la onda tierra dentro. Dado un nivel de mar total en playa, todas las áreas cuyo nivel del terreno sea menor a este nivel de mar y tengan conectividad directa o mediante macro-drenaje de pluviales con la playa se considerarán inundadas. Este es un método conservador, comúnmente denominado como BTM (*BathTub Method*)¹¹.
- No se considera la ocurrencia conjunta de precipitación y nivel de mar en playa. Esto implica que la zona que se identifique como inundable es solo aquella que se inunda por efecto directo de los agentes marítimos, quedando sin mapear las zonas inundables por efecto de agentes continentales (precipitación) o por eventos compuestos (precipitación y nivel de mar severos o extremos actuando en simultáneo).
- No se considera el efecto del run-up. El nivel de mar total en playa sí incluye el efecto del set-up, pero el caudal de rebase que se pueda producir en dunas, revestimientos u otros elementos no es tenido en cuenta para el cálculo de la inundación.

Para el cálculo de las zonas inundadas se considera el escenario actual y dos escenarios futuros, con aumento del nivel medio del mar +20 cm y +40 cm (representativos de los horizontes temporales 2050 y 2075 en el escenario RCP8.5).

Como ya se comentó en la sección 4.9, el principal cambio en los agentes marítimos asociados al cambio climático es el aumento del nivel medio del mar, siendo los cambios en las mareas (meteorológica y astronómica) y en el oleaje de segundo orden. Por lo tanto, el nivel de mar total en playa para los escenarios futuros se determina sumando el nivel de mar total correspondiente al clima actual (ver Tabla 4-5) a los aumentos de nivel medio de mar considerados.

¹¹ Ver, por ejemplo: Williams, L. L., & Lück-Vogel, M. (2020). Comparative assessment of the GIS based bathtub model and an enhanced bathtub model for coastal inundation. *Journal of Coastal Conservation*, 24(2), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s11852-020-00735-x>

La Figura 4-40 presenta un ejemplo de las manchas de amenaza de inundación costera obtenidas con la metodología propuesta para un período de retorno de 100 años con un aumento del nivel medio del mar de 40 cm.

Nivel de mar total en playa [m Wh.] clima actual					
Tr 10	Tr 20	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500
3.2	3.4	3.7	3.9	4.1	4.5

Tabla 4-5– Nivel de mar total en la playa del Cerro para distintos períodos de retorno (Tr, en años), considerando el clima actual.



Figura 4-40: Ejemplo de las manchas de amenaza de inundación costera obtenidas con la metodología propuesta para Tr 100 con un aumento del nivel medio del mar de 40 cm.

4.10.2. AMENAZA POR EROSIÓN DE PLAYAS

La amenaza por erosión de playas se cuantifica de dos maneras:

1. Determinando el área de playa perdida en distintos escenarios y horizontes temporales. Para esto se utilizan los retrocesos estimados en la sección 4.9.1 por aumento del nivel medio del mar.
2. Determinando los tramos de costa en los que no hay espacio suficiente para atender el retroceso de la línea de costa más la variabilidad del perfil de playa sin alcanzar infraestructuras existentes. En este caso se utilizan las proyecciones calculadas en la sección 4.9 más la variabilidad del perfil de playa estimado en la sección 4.6.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Se definen dos escenarios para calcular las proyecciones de línea de costa y las correspondientes pérdidas de área y volumen de arena:

- Línea de costa a 2050 considerando que no hay déficit de sedimentos del sistema y aumento del nivel medio del mar de 20 cm.
- Línea de costa a 2075 considerando que no hay déficit de sedimentos del sistema y aumento del nivel medio del mar de 40 cm.

Para cada una de estas líneas de costa se calcula también la franja de variabilidad del perfil de playa con los valores correspondientes a retrocesos estimados de período de retorno 10 años y 100 años, lo que permite identificar los tramos de costa en los que se prevé existirán amenazas a la rambla u otras infraestructuras costeras. Las figuras siguientes muestran ejemplos de los resultados obtenidos para horizonte temporal 2050 con cambio climático (Figura 4-41) y horizonte temporal 2075 con cambio climático (Figura 4-42). La Tabla 4-6 presenta las áreas de playa y parque perdidas para cada uno de los escenarios analizados.

Horizonte - escenario	Pérdida de área de playa/parques [has]
2050 con aumento NMM +20cm	0,2
2075 con aumento NMM +40cm	0,4

Tabla 4-6: Área de playa/parque perdidos para cada uno de los escenarios analizados.



Figura 4-41 – Línea de costa proyectada para 2050, considerando aumento del nivel medio del mar de 20 cm, y límites de erosión de playa para tormentas de 10 y 100 años de período de retorno.



Figura 4-42 – Línea de costa proyectada para 2075, considerando aumento del nivel medio del mar de 40 cm, , y límites de erosión de playa para tormentas de 10 y 100 años de período de retorno.

4.10.3. CONCLUSIONES

Los resultados presentados en los dos apartados anteriores muestran que para un aumento del NMM de hasta +40 cm el nivel de amenaza a las viviendas e infraestructura existentes se ve poco afectado, y que en general hay un ancho de playa y parque suficiente para permitir que se dé un proceso natural de adaptación de la playa al aumento del NMM. Recién para aumentos de NMM mayores a 40 cm es que la erosión de la playa durante eventos extremos podría comenzar a afectar la rambla, algo que al día de hoy no ocurre.

4.11. DRENAJE PLUVIAL

4.11.1. IDENTIFICACIÓN INFRAESTRUCTURA DE DESCARGA A LA COSTA

Se identifican 6 descargas dentro del arco de estudio y zonas adyacentes al mismo. En la Figura 4-43 se presenta la ubicación de las descargas identificadas, así como los cursos de agua e infraestructura existente.



Figura 4-43: Descargas identificadas en el arco de estudio y su zonas aledañas.

4.11.2. CARACTERIZACIÓN Y TRAZADO DE CUENCAS

A partir del modelo digital del terreno, las curvas de nivel del IDE y la información de infraestructura existente se trazan las cuencas de aporte asociadas a cada descarga identificada. En la Figura 4-44 se presenta el trazado de las cuencas, mientras que en la Tabla 4-7 se indica el área de aporte de cada cuenca.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

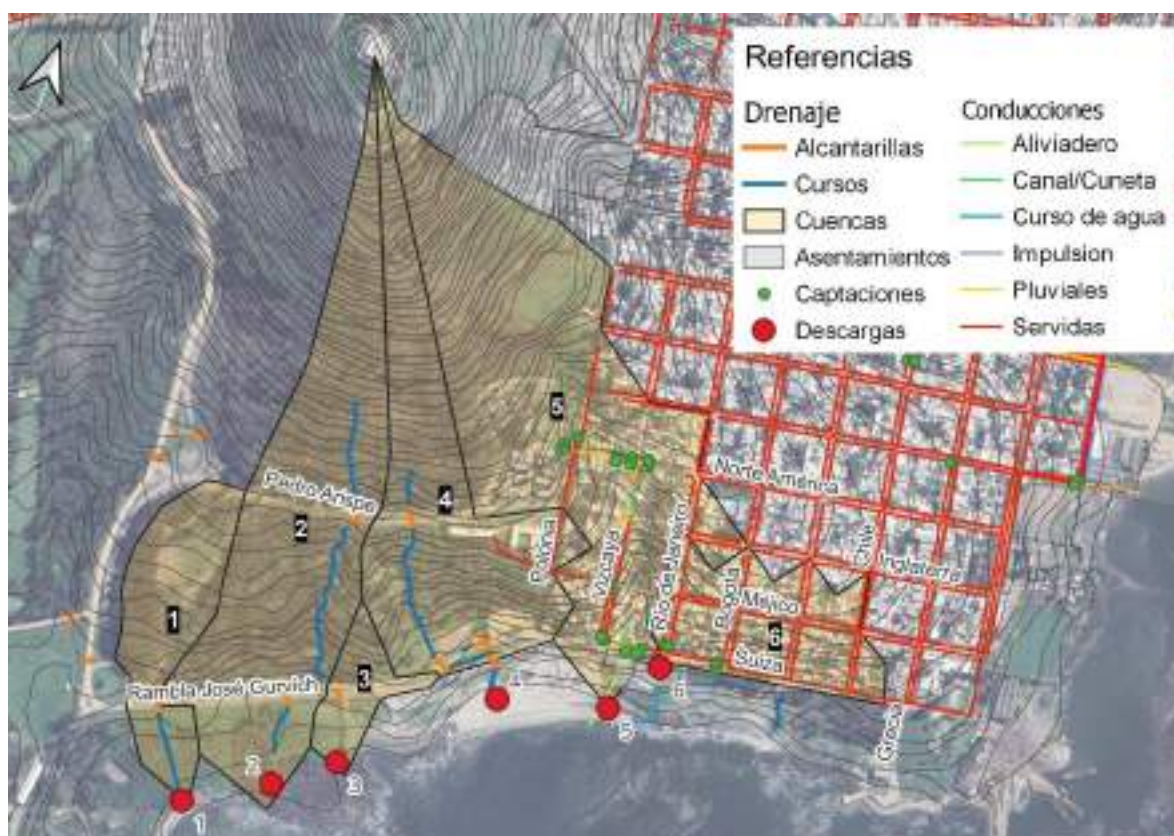


Figura 4-44: Cuencas de aporte a las descargas identificadas

Cuenca	Área (ha)
1	5,6
2	16,5
3	2,0
4	12,4
5	22,0
6	6,3

Tabla 4-7: Área de las cuencas de aporte a las descargas identificadas.

Se observa que en la zona de estudio descargan las cuencas 4, 5 y 6. A continuación se presenta una descripción de cada cuenca y su descarga.

Cuenca 4:

Esta cuenca descarga en la zona central de la playa, sobre un área vegetada para luego alcanzar la zona donde actualmente se presenta el mayor ancho de playa y por lo tanto es

un sector ampliamente utilizado por la población. En la Figura 4-45 se presenta una fotografía de la zona de descarga de la cuenca 4 en la playa.



Figura 4-45: Descarga de la cuenca 4 en la zona de mayor uso de la playa del Cerro.

Esta cuenca recibe aportes desde el cerro (Figura 4-44) ya que parte del escurrimiento que baja por la ladera cruza la calle Pedro Arispe por medio de una alcantarilla. Desde la calle Pedro Arispe hacia el sur el escurrimiento se da por la zona de parque hasta alcanzar dos alcantarillas que descargan a un canalón (ver Figura 4-46). Desde este último se realiza el cruce de la Rambla José Gurvich hasta descargar en la playa (Figura 4-47).



Figura 4-46: Alcantarillas de descarga en canalón.



Figura 4-47: Alcantarilla de cruce de la Rambla José Gurruch.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Cuenca 5:

Esta cuenca corresponde a la cuenca de aporte de la Cañada Pichuaga, la cual posee un tramo canalizado a superficie libre que atraviesa las viviendas. Previo al cruce bajo la Rambla el canal presenta una captación (tubería de 300mm) que ingresa a un pozo de bombeo. En tiempo seco el agua es bombeada hacia un registro de la red de saneamiento (ver Figura 4-48 y Figura 4-49). El caudal excedente continúa hacia aguas abajo por la alcantarilla de cruce bajo la Rambla. El pozo cuenta con dos bombas sumergibles cuyo punto de funcionamiento es de $Q=5$ l/s y $H=5$ mca. Se realiza una estimación de caudal en tiempo seco utilizando los caudales específicos de estiaje máximos presentados en “*Regionalización de estadísticas de caudales*” (DINAGUA, 2019) para las cuencas de nivel 2. La cuenca que incluye a la playa del Cerro corresponde a la N°26, cuyo caudal específico máximo (mes de agosto) es de 17 l/s/km², resultando un caudal de estiaje para la cuenca en estudio de $3,7$ l/s. Con este valor como referencia, se considera que el pozo de bombeo posee suficiente capacidad para realizar el bombeo de los caudales de estiaje de la cañada Pichuaga. En eventos de precipitación el canal alivia hacia la alcantarilla de cruce bajo la rambla y descarga en la traza de la cañada.



Figura 4-48: Cañada Pichuaga: zona canalizada entre las viviendas y captación con reja para el ingreso al pozo de bombeo.



Figura 4-49: Tapas de pozo de bombeo.

Sin embargo, en la recorrida realizada el 5 de febrero del 2024 (tiempo seco), se observa una descarga/vertido hacia el sur de la Rambla en la traza de la cañada, la cual a su vez se encuentra atravesando el asentamiento (Figura 4-50). Adicionalmente, se expresa por parte de la intendencia que la calidad de estos vertidos no es consistente con agua residual cruda, sino que su calidad corresponde a agua residual diluida. En este sentido, tomando en cuenta que la visita se realiza en tiempo seco y que en dicho estado el pozo de bombeo posee capacidad operativa para evacuar los caudales de estiaje de la cuenca, se puede inferir que el agua presente en la playa podría tratarse de agua de napa con algún aporte de conexiones domiciliarias del asentamiento.



Figura 4-50: Vertido de agua a la playa en la traza de la Cañada Pichuaga.

Cuenca 6:

La cuenca 6 corresponde al escurrimiento pluvial de la zona urbana al este de la cuenca 5. El escurrimiento es captado mediante bocas de tormentas y conducido por colectores hasta alcanzar la zona de playa, descargando al este del asentamiento en la zona rocosa del arco.

4.11.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CUENCAS

Se calcula el tiempo de concentración de las cuencas utilizando el método de Desbordes, considerando un tiempo de concentración mínimo de 10 minutos. En todas las cuencas resultan tiempos de concentración menores o iguales que 10 minutos, ya que en su mayoría son cuencas rápidas. En este sentido, se asigna a todas las cuencas un tiempo de concentración de 10 minutos.

Debido a que $t_c < 20\text{min}$ se utiliza para todos los casos el Método Racional para el cálculo del caudal pico de esorrentía. En la Tabla 4-8 se presenta el área, pendiente y tiempo de concentración para cada cuenca.

Cuenca	Área (ha)	Pendiente (%)	tc (min)
1	5,6	5,5	10
2	16,5	9,9	10
3	2,0	8,6	10
4	12,4	11,2	10
5	22,0	10,3	10
6	6,3	6,8	10

Tabla 4-8: Área, pendiente y tiempo de concentración para cada cuenca.

Con el objetivo de obtener el Coeficiente de escorrentía (C) utilizado en el Método racional, se determina la cobertura actual para cada cuenca. Se toma muestra de una manzana tipo que sea representativa de la cobertura urbana de la zona, así como también se consideran las zonas no desarrolladas. En la Figura 4-51 se presenta la manzana tipo considerada para la cobertura urbana, mientras que en la Tabla 4-9 se expone el cálculo realizado para obtener el coeficiente de escorrentía para la manzana tipo en los diferentes periodos de retorno a considerar.



Figura 4-51: Manzana tipo considerada para la clase de cobertura urbana.

Superficie	Área (m2)	%	C ponderado según TR				
			2	5	10	50	100
Concreto techo	7.344,5	74%	0,75	0,80	0,83	0,92	0,97
Verde	888,7	9%	0,37	0,40	0,42	0,49	0,53
Calle	1.689,4	17%	0,73	0,77	0,81	0,90	0,95
Total	9.922,6	100%	0,71	0,76	0,79	0,88	0,93

Tabla 4-9: Coeficiente de escorrentía calculado para la manzana tipo urbana.

A partir de la identificación de zonas urbanas y verdes, se pondera por áreas y se obtiene el coeficiente de escorrentía para cada cuenca en los distintos TR (Tabla 4-10).

Finalmente, se calculan los caudales pico para cada cuenca y cada período de retorno estudiado utilizando el método racional, los cuales se presentan en la Tabla 4-11.

Cuenca	C ponderado según TR				
	2	5	10	50	100
1	0,37	0,40	0,42	0,49	0,53
2	0,37	0,40	0,42	0,49	0,53
3	0,37	0,40	0,42	0,49	0,53
4	0,39	0,42	0,44	0,51	0,55
5	0,51	0,55	0,57	0,65	0,70
6	0,71	0,76	0,79	0,88	0,93

Tabla 4-10: Coeficiente de escorrentía ponderado para cada cuenca.

Cuenca	Q pico (m3/s) según TR				
	2	5	10	50	100
1	0,5	0,7	0,9	1,5	1,8
2	1,5	2,2	2,7	4,4	5,3
3	0,2	0,3	0,3	0,5	0,6
4	1,2	1,7	2,1	3,4	4,1
5	2,7	4,0	4,9	7,8	9,3
6	1,1	1,6	1,9	3,0	3,5

Tabla 4-11: Caudales pico para cada cuenca asociados a los eventos de TR 2, 5, 10, 50 y 100 años calculado con el método racional.

4.11.4. ANÁLISIS DE EROSIÓN EN ACCESOS COSTEROS

En el tramo oeste se presentan tres accesos a la zona de playa:

- Escalera y rampa de acceso desde estacionamiento, al oeste del tramo;
- Escalera de acceso calle Polonia;

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

- Escalera de acceso calle Vizcaya.

A pedido de la intendencia se analiza la ocurrencia de problemas de erosión en dichos accesos. El acceso de calle Polonia se encuentra en buen estado y no presenta socavación luego del último escalón, donde la arena está cubierta de pasto. Sin embargo, este proceso si se constata en la escalera de la calle Vizcaya donde el escalón final se encuentra descalzado (ver Figura 4-52). Se observa que ambas escaleras reciben el escurrimiento que cae sobre las mismas y sobre la vereda adedaña, con lo cual el área de aporte es pequeña. Sin embargo, debido al importante desnivel, se generan velocidades altas que generan erosión en la interfase estructura – arena (caso escalera de la calle Vizcaya).



Figura 4-52: Escalera de acceso calle Polonia (derecha) y escalera de acceso calle Vizcaya (izquierda)

Por otro lado, al oeste del tramo, existe una escalinata de acceso que se une a una rampa de acceso nueva que inicia en el estacionamiento vehicular.

La rampa nueva no presenta problemas erosión en la zona de tránsito peatonal, pero si en la unión de la rampa con el acceso de la escalera, previo al tramo que discurre sobre la arena. A su vez, se identifica una línea de puntos bajos que atraviesa el acceso desde la escalinata y descarga en la playa (ver Figura 4-53).

Como se puede observar en la Figura 4-54, la línea de puntos bajo que atraviesa el acceso desde la escalinata y descarga en la playa, recibe el escurrimiento pluvial de la explanada de estacionamiento y parte del talud verde (cuenca de aporte de 0.3 hectáreas aproximadamente). Por otro lado, la losa de la explanada de acceso se encuentra apoyada en el terreno y no permite el escurrimiento en sentido noroeste-sureste, por lo que el

escurrimiento pluvial del talud empastado circula paralelo a la explanada hasta la intercepción de esta con la explanada de acceso de la escalinata, punto donde se observó problemas de erosión (cuenca de aporte de 0.3 hectáreas aproximadamente).



Figura 4-53: Rampa de acceso oeste, línea de puntos bajos en explanada empastada que descarga sobre la playa.



Figura 4-54 Zonas de erosión acceso Oeste

4.12. PROPUESTA DE ALTERATIVAS

Siguiendo la lógica propuesta en las “Estrategias para la protección de la costa” del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España¹², las medidas de gestión orientadas a la protección y adaptación de la costa frente a los efectos del cambio climático pueden clasificarse en:

- Medidas orientadas a **entender** mejor el sistema (e.g. estudios de disponibilidad de sedimentos, estudios de riesgo, actividades de formación y capacitación, monitorización de la costa, etc.).
- Medidas orientadas a **planificar** (e.g. revisión de procedimientos administrativos, coordinación entre administraciones, etc.).
- Medidas de **actuación** en el medio físico.

Dentro de las medidas de actuación en el medio físico se distinguen:

- Medidas **basadas en la naturaleza**, como ser la gestión del sedimento costero, la regeneración de playas y mantenimiento de playa seca, el mantenimiento y rehabilitación de ecosistemas costeros (sistemas dunares, marismas, humedales).
- Medidas de **estabilización de la costa**, consistente en la construcción de infraestructura orientada a limitar el movimiento de los sedimentos (e.g. espigones, diques exentos).
- Medidas de **defensa de la costa**, consistente en la construcción de infraestructura que fija la posición de la línea de costa impidiendo el retroceso de la misma y proporcionando protección a la infraestructura localizada en su trasdós (e.g. revestimientos, muros costeros).
- Medidas de retroceso controlado.

En esta misma línea, varios manuales y publicaciones relativas a la adaptación de la costa al cambio climático diferencian entre cinco posibles estrategias de actuación:

- **no hacer nada**,
- **retiro**,
- **mantener la línea de costa**,
- **avanzar la línea de costa**,
- **intervenciones limitadas**,

las cuales se presentan en forma esquemática en la Figura 4-55. Claramente esta última clasificación se enmarca dentro de lo que serían actuaciones en el medio físico, y tiene varias

¹² Ver: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategias-proteccion-costa/>

concordancias con la clasificación propuesta en las “Estrategias para la protección de la costa”. Por ejemplo, varias de las soluciones basadas en la naturaleza podrían encuadrarse en lo que se denomina intervenciones mínimas, mientras que las medidas de defensa de la costa corresponderían a la estrategia de mantener la línea de costa.

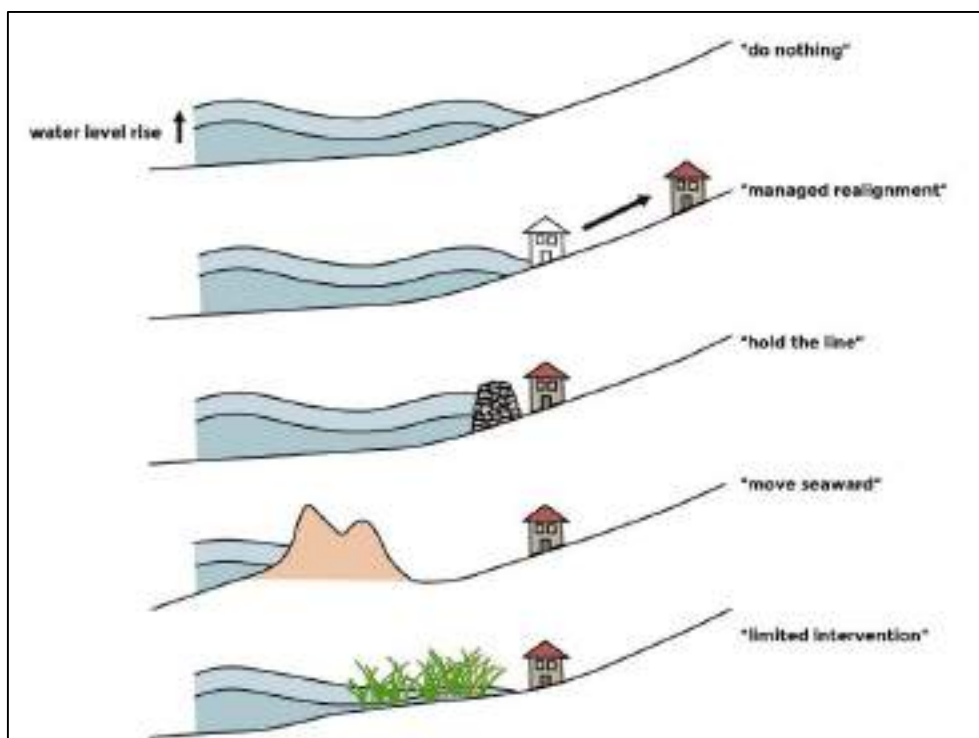


Figura 4-55: Esquema de estrategias de defensa de la costa, tomado de Stelljes et al. (2018)¹³

En este proyecto el foco está en la propuesta de medidas de actuación en el medio físico, dando prioridad a las medidas basadas en la naturaleza, pero teniendo en cuenta que: (1) en ocasiones puede ser necesario o conveniente plantear soluciones híbridas, que combinen elementos “verdes”, o ecosistemas, con elementos “grises” u obras de infraestructura litoral tradicionales¹⁴, y (2) que las medidas de actuación que se propongan podrán requerir de

¹³ Stelljes, N., Martinez, G., & McGlade, K. (2018). Introduction to the RISC-KIT web based management guide for DRR in European coastal zones. Coastal Engineering, 134, 73–80. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.09.012>

¹⁴ Morris, R. L., Boxshall, A., & Swearer, S. E. (2020). Climate-resilient coasts require diverse defence solutions. Nature Climate Change, 10(6), 485–487. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0798-9>

medidas complementarias orientadas a entender y planificar para asegurar el buen funcionamiento y adaptación de las primeras.

La denominación de soluciones basadas en la naturaleza en este contexto se refiere a la creación o restauración de hábitats para proveer servicios de protección contra erosión e inundación costera, junto con otros beneficios. En este sentido, resulta relevante lo establecido en recientemente publicado “International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management” (Bridges et al. 2021)¹⁵:

“El término características naturales y basadas en la naturaleza (NNBF, por sus siglas en inglés) se refiere al uso de las características del paisaje para producir beneficios FRM¹⁶. Los proyectos NNBF también pueden producir otros beneficios económicos, medioambientales y sociales conocidos como beneficios colaterales (co-beneficios) de los NNBF. Estos elementos del paisaje pueden ser naturales (producidos exclusivamente por procesos naturales) o basados en la naturaleza (producidos por una combinación de procesos naturales e ingeniería humana) e incluyen elementos como playas, dunas, humedales, arrecifes e islas. Los elementos paisajísticos pueden utilizarse solos, combinados entre sí o en combinación con medidas convencionales de ingeniería como diques, muros de contención y otras estructuras.”

En este mismo manual se señala que, sin ser estrictamente sinónimos, existe una diversidad de términos en la bibliografía que hacen referencia a este mismo concepto (ver Figura 4-56).

¹⁵ Bridges, T. S., J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder, and R. K. Mohan, eds. 2021. International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center. <https://erdc-library.erdcdren.mil/jspui/handle/11681/41946>

¹⁶ FRM se refiere a las medidas adoptadas para reducir los daños futuros causados a las personas y los bienes por las inundaciones y la erosión en los sistemas costeros y fluviales.

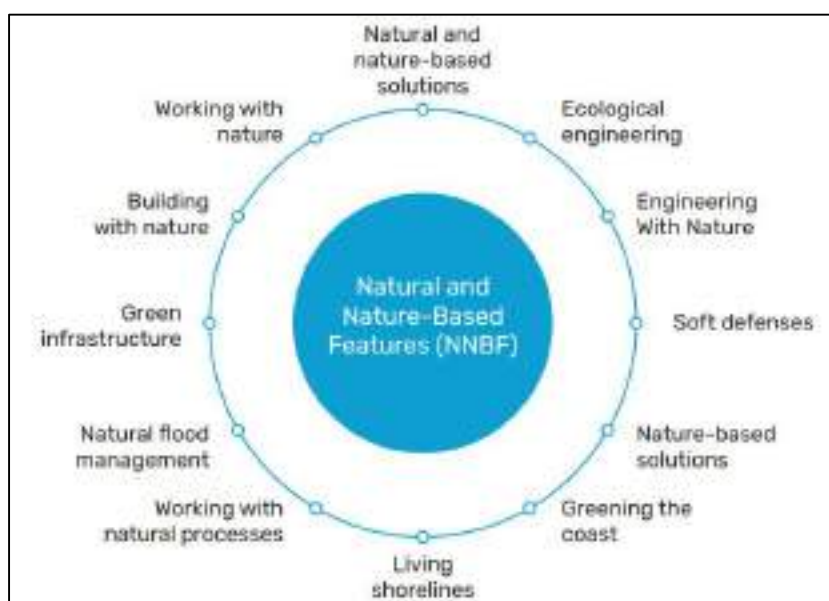


Figura 4-56 – Términos usados en la bibliografía en la que se abordan las soluciones basadas en la naturaleza (Figure 1.1 de Bridges et al. 2021).

Las soluciones basadas en la naturaleza (SbN) han adquirido una importancia cada vez mayor para abordar los desafíos de la fragmentación de ambientes, la consecuente pérdida de servicios ecosistémicos, la variabilidad y el cambio climático¹⁷.

Según la definición de PNUMA (2022)¹⁸, las SbN son acciones para proteger, conservar, restaurar, utilizar y gestionar de forma sostenible los ecosistemas terrestres naturales o modificados.

Esto significa una herramienta para abordar de manera efectiva y adaptativa los desafíos sociales relacionados con el cambio climático, la pérdida de biodiversidad, urbanización, seguridad del agua, entre otros.

A nivel costero el abordaje SbN en Uruguay ha tenido varios ejemplos exitosos de intervención enmarcadas en proyectos de adaptación basada en ecosistemas (AbE). Gran

¹⁷ Meyer, K., and Hessenberger, D. (2022). *Prototype database of international Nature-based Solutions case studies: supplementary report to the CCICED special policy study on value assessment of Nature-based Solutions*. Gland, Switzerland: IUCN.

¹⁸ United Nations Environment Programme/UNEP (2022a). Resolution adopted by the United Nations Environment Assembly on 2 March 2022.5/5. Nature-based solutions for supporting sustainable development.

parte de ellos liderados por el actual Ministerio de Ambiente (ex MVOTMA)¹⁹ y la Oficina de Planeamiento y Presupuesto²⁰ a partir de varios proyectos de desarrollo local, adaptación al cambio climático y restauración costera. Todas estas iniciativas fueron realizadas en coordinación con gobiernos subnacionales (municipales y departamentales) y en varias de estas oportunidades involucrando a la sociedad civil a nivel local, desarrollando a su vez el enfoque de adaptación basada en comunidades (AbC).

¹⁹ Proyecto: Implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático en áreas costeras del Uruguay (PNUD-GEF URU/07/2013).

²⁰ Programa de Desarrollo y Gestión Subnacional de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto Área de Políticas Territoriales, Préstamo No. 2668/OC-UR CP N° 002/2014 – Piloto de Gestión de Riesgos en el Departamento de Canelones- Zona Costera.

4.12.1. CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Teniendo en cuenta que:

- a) Excluyendo las viviendas ubicadas al sur de la rambla, las cuales se recomienda retirar en el marco de este mismo proyecto, se tiene que tanto en condiciones actuales como en condiciones futuras el nivel de amenaza a la infraestructura existentes es muy bajo. Recién a partir de aumentos de NMM de más de 40 cm es que la erosión podría alcanzar a la rambla durante eventos extremos.
- b) Se ha detectado un proceso de rotación de la playa que, al día de hoy, impide el uso recreativo del tramo Este de la playa, el cual no ha podido ser explicado con la información existente.

Se entiende que en primera instancia no resulta necesario ni recomendable la implementación de obras orientadas a proteger la infraestructura y/o limitar la movilidad de los sedimentos. Por el contrario, se considera más razonable enfocarse en medidas orientadas a monitorizar el sistema, a fin de comprender el porqué de su evolución reciente, a la vez que se implementan intervenciones de pequeño porte orientadas a mantener un ecosistema de playa y dunas sano y con espacio suficiente para posibilitar su adaptación natural al aumento del nivel medio del mar.

4.12.2. ALTERNATIVAS DE ACTUACIÓN CONSIDERADAS

Se describen a continuación las alternativas de intervención que se consideran adecuadas para el caso de la playa del Cerro, en función de los resultados alcanzados en los apartados previos.

4.12.2.1. No hacer nada

Visto el nivel de amenaza actual, no hacer nada podría ser una medida aceptable. En este caso, existiría una cierta amenaza para las viviendas ubicadas al sur de la rambla, y eventualmente, cuando se alcancen aumentos del NMM superiores a los 40 cm, comenzaría a existir amenaza de erosión a la rambla.

En este caso no se tomarían medidas tendientes a comprender, mitigar o revertir el proceso de rotación de la playa, por lo que en caso de que éste continúe, es posible que se continúe perdiendo playa para su uso recreativo.

4.12.2.2. Medidas tendientes a entender el sistema

La rotación reciente de la playa del Cerro (y otras playas de la zona) no ha podido ser explicada con la información disponible. En este sentido se hace necesario continuar monitorizando la evolución de estas playas, y hacer un esfuerzo adicional en cuanto a recolección de datos y realización de estudios específicos que permitan identificar las causas que subyacen al comportamiento reciente de la playa. Algunas actividades mínimas en esta dirección serían: (i) medición de datos de oleaje y corrientes frente a la playa del Cerro para calibrar localmente los modelos de oleaje, (ii) realización de una batimetría amplia, que cubra desde las áreas dragadas para la terminal regasificadora hasta la playa del Cerro.

4.12.2.3. Retiro controlado

El retiro controlado de las viviendas ubicadas al sur de la rambla reduciría la exposición del sistema, ya que esta es la única infraestructura que en la actualidad se encuentra expuesta a algún nivel de amenaza, y ampliaría el espacio disponible para posibilitar la adaptación de la playa al aumento del nivel medio del mar de forma natural. En este sentido, si bien se entiende que el retiro de estas viviendas no necesariamente se justifique solo por el objetivo de reducir la exposición de las personas que las habitan a las amenazas de origen marítimo, de realizarse sería una medida que contribuiría a reducir el riesgo por erosión e inundación actual y futuro, así como a incrementar la resiliencia de la playa del Cerro.

4.12.2.4. Intervenciones limitadas y NbS de pequeña escala

En esta categoría entran una serie de medidas que podrían tomarse para mejorar la situación actual de la playa en cuanto a su uso recreativo y su capacidad de adaptarse al aumento del nivel medio del mar manteniendo sus funciones actuales de recreación y protección de la rambla.

Medidas orientadas a la reconstrucción de dunas y al aumento del nivel de berma

Los análisis presentados en este informe indican que la playa del Cerro es un sistema cerrado, que no recibe arena de su entorno de forma natural. En este sentido, las medidas que se implementen para la reconstrucción de dunas y/o el aumento del nivel de berma deberán tener en cuenta que, o se aporta arena al sistema, o se redistribuye la arena ya presente en el mismo.

Se entiende que el aporte de arena mediante camiones a la zona de dunas es una medida de pequeña escala que, de mantenerse de forma periódica y acompañarse con medidas de fijación de la arena, puede resultar en la formación de un sistema de dunas en la playa que sirva para reducir la distancia máxima hasta la que llega la erosión de la playa durante eventos extremos.

La construcción de una duna primaria todo a lo largo de la playa del Cerro requeriría de unos 4.000 m³ de arena, los cuales podrían aportarse en distintas campañas en un plazo de algunos años.

4.12.2.5. Proteger la línea de costa

En un escenario en que se retiran las viviendas al sur de la rambla, se entiende que no es necesario implementar medidas de protección.

En caso de no retirarse las viviendas, sí sería recomendable implementar alguna medida de protección de pequeñas dimensiones para las casas en primera línea de costa, a fin de evitar sean afectadas por la erosión de la playa y/o por el run-up del oleaje durante eventos extremos de nivel de mar y oleaje. Estas protecciones podrían materializarse mediante sistemas de geotubos enterrados o tablaestacas para limitar la erosión, y muros de gaviones para evitar el impacto del run-up. La Figura 4-57 presenta, a nivel conceptual, el tramo que debería ser protegido en caso de no retirar las viviendas, el cual es de aproximadamente 70 m de longitud.



Figura 4-57 – Tramo en el cual se deberían implementar medidas de protección contra la erosión y el run-up en caso de no retirarse las viviendas ubicadas al sur de la rambla.

4.12.2.6. Avanzar la línea de costa

Si se desea recuperar el tramo Este de la playa del Cerro para su uso recreativo será necesario avanzar la línea de costa lo suficiente como para volver a enterrar las rocas y piedras partidas que han aflorado con la rotación de la playa. Esto implicaría un avance de la línea de costa de aproximadamente 20 m en el tramo Este de la playa, lo que implicaría aprox. 15.000 m³ de arena.

En principio, este relleno no requeriría la implementación de obras de estabilización adicionales. Sin embargo, en caso de verificarse que la tendencia a la rotación de la playa en sentido antihorario se mantiene en el tiempo, y que la misma redonda en un transporte sistemático de los sedimentos colocados en el tramo Este hacia el tramo Oeste de la playa, entonces podría sí implementarse un pequeño espigón que de contención al relleno de playa. El mismo sería de aproximadamente 30 m de longitud, y podría materializarse mediante hormigón ciclópeo, con capa superior transitable, sirviendo también como pequeño muelle de

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

pesca deportiva. El volumen total de hormigón ciclópeo para una obra de estas características rondaría los 120 m³.



Figura 4-58 – Esquema de zona a rellenar (amarillo) y ubicación de espigón de contención para limitar pérdida de arena del tramo Este hacia el tramo Oeste.

4.12.1. ASPECTOS ECOSISTÉMICOS

Básicamente las medidas SbN identificadas en el marco de la consultoría involucran a los ecosistemas costeros presentes en el área: humedales costeros, dunas primarias y campo dunar y por último el bosque costero. En general estos 3 tipos de ecosistemas proveen, a nivel costero servicios de regulación²¹, tales como control de la erosión, regulación del ciclo del agua, depuración de efluentes, amortiguación de eventos extremos de oleaje.

Las acciones de enverdecimiento propuestas son orientadas a la mejora del ambiente costero. Se propone la implementación de acciones como cercas captoras, plantación de herbáceas dunares, manejo de especies exóticas pre-existentes, la revegetación con especies de bosque y matorral psamófilo, así como especies arbóreas de ecosistemas

²¹ Munroe, R., Hicks, C., Doswald, N., Bubb, P., Epple, C., Woroniecki, S., Bodin, B., Osti, M. (2015) 'Guía para la integración del papel de los ecosistemas en la evaluación del impacto y la vulnerabilidad al cambio climático como aporte para la adaptación basada en ecosistemas', UNEP-WCMC, Cambridge, UK.

fluviales. Todo esto como parte integral de un proceso de manejo adaptativo orientado a la mejora del ambiente costero circundante del arco de playa.

Para el caso en estudio, se identifican una serie de medidas NbS que permiten conservar el ecosistema costero en la zona de la playa del Cerro, costa oeste de Montevideo. Estas medidas se basan en experiencias realizadas en distintos sitios de la costa uruguaya con prácticas avaladas y en varias oportunidades realizadas por el Ministerio de Ambiente en coordinación con gobiernos subnacionales y organizaciones de la sociedad civil de la zona costera.

En particular, el sector oeste del arco de playa presenta atributos ecosistémicos de buena calidad: duna primaria, campo dunar y humedales interdunares, esto último como parte del remate en la zona costera del drenaje proveniente del territorio al Norte de la Rambla.

Se presenta una serie de medidas de adaptación basadas en estos componentes ecosistémicos, a través de la restauración dunar, reforestación de bosque costero nativo y fortalecimiento de los humedales interdunares.

Sumado a esto se plantea la generación de un sendero de interpretación paralelo a la costa que atravesase una zona de bosque costero y sistema dunar, jerarquizando el tramo este de la playa, hoy prácticamente sin arena y representando una pérdida de metros cuadrados de playa para usuarios de este tramo de la zona costera de Montevideo.

En la Figura 4-59 se presenta de manera resumida las soluciones basadas en la naturaleza planteadas para el tramo oeste de la playa del Cerro. El desarrollo de cada componente a nivel de anteproyecto se presenta más adelante en este mismo informe.



Figura 4-59: Soluciones basadas en la naturaleza propuestas para el tramo oeste de la playa del Cerro.

4.12.2. DESCARGAS PLUVIALES

La playa del Cerro recibe las descargas de las cuencas 4, 5 y 6 (ver sección 4.11). A continuación, se indican las alternativas propuestas para cada descarga:

- **Descarga 4:** la cuenca 4 (12.4 ha) descarga por la parte central de la playa, por lo cual es de interés mitigar el impacto de la descarga pluvial en la zona de mayor uso recreativo de la playa. Se propone realizar dos amortiguaciones aprovechando las dos depresiones del terreno existentes al norte de la Rambla y un tercer cuenco de retención al sur de la rambla, inmediatamente aguas abajo de la alcantarilla existente. Dichas amortiguaciones se complementan con la implantación de vegetación de humedal y de bosque costero. Se descarta la alternativa de realizar el trasvase de los caudales escurridos en esta cuenca hacia fuera de la zona de playa (hacia la cuenca 3) el análisis se presenta en la sección 4.12.2.1.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

- **Descarga 5 (Cañada Pichuaga):** se propone reconducir la cañada al Sur de la Rambla hacia la zona de rocas.
- **Descarga 6:** a priori no se plantea ninguna intervención ya que la descarga se da en la zona rocosa del arco de playa.

A su vez, se plantean captaciones y cunetas en la zona del acceso nuevo ubicado al oeste del tramo, para atender problemas de erosión locales.

4.12.2.1. Trasvase de cuenca

En la visita realizada a campo se menciona la posibilidad de realizar el trasvase de los escurrimientos de la cuenca 4 a la descarga de la cuenca 3. El objetivo de esta obra es eliminar el escurrimiento presente en el área de playa (cuenca 4) el cual afecta el uso de dicha zona ante eventos de precipitación, y descargar esos escurrimientos en la zona rocosa donde actualmente vierte la cuenca 3.

Para evaluar si es viable la ejecución de esta obra, se realiza un trazado aproximado de la conducción a emplazar para efectuar el trasvase de cuencas. El mismo tiene inicio en el punto más bajo del canalón y finaliza previo a la alcantarilla que cruza la rambla en la cuenca 3. Dicho trazado en planta se puede apreciar en la Figura 4-60. A partir del MDT del IDE, se elabora el perfil del terreno del trazado presentado, así como un perfil de la conducción a proponer con una pendiente del 0.3% y una profundidad inicial de 1m. Estos perfiles se presentan en la Figura 4-61.

Observando el perfil se obtiene que la profundidad máxima es de 5.1m. Tomando en cuenta que se trata de una zona rocosa donde se estima que la misma se encuentra relativamente superficial, esta obra tendría una complejidad y un costo elevado debido a la necesidad de excavar en roca a altas profundidades. Por lo tanto, no se profundiza en esta alternativa debido a que no se considera la más adecuada para el caso en estudio.

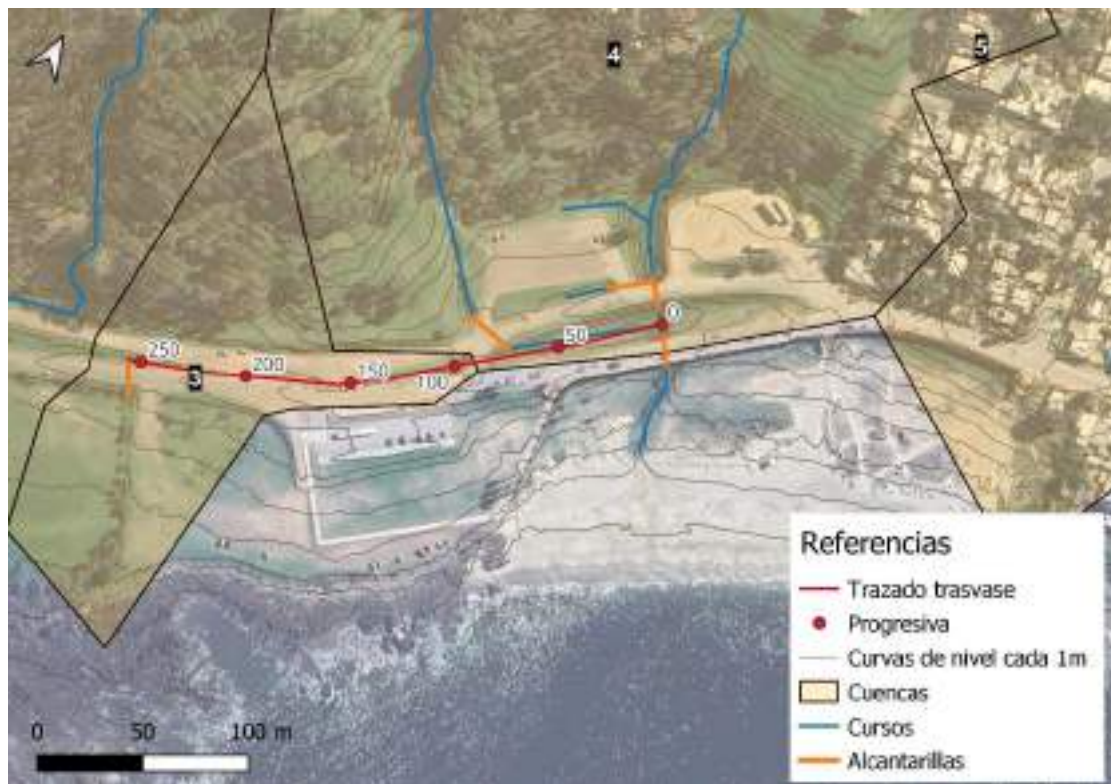


Figura 4-60: Trazado propuesto para el trasvase de la cuenca 4 a la 3.

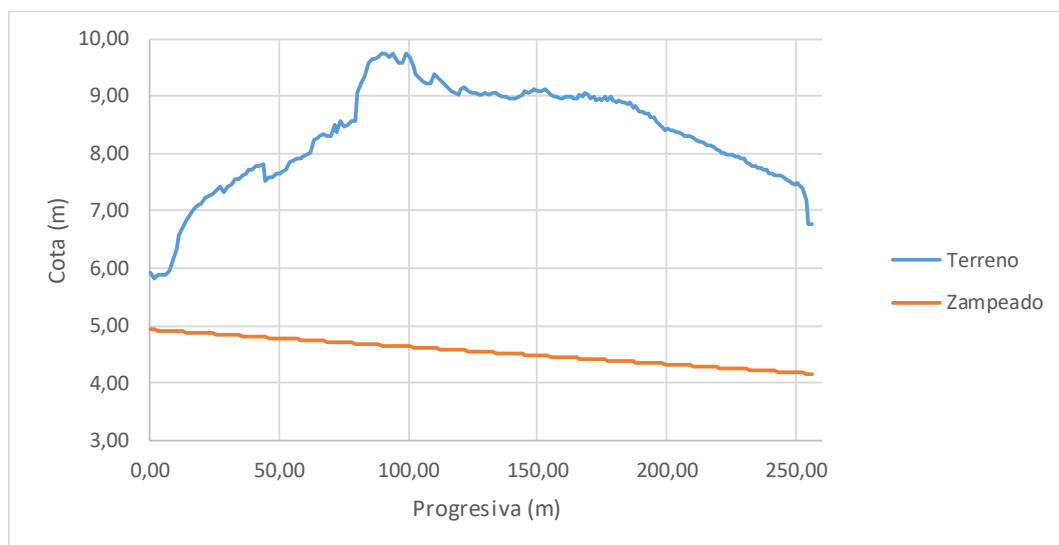


Figura 4-61: Perfil de terreno y perfil estimado del trasvase.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.12.3. ASPECTOS URBANOS Y SOCIALES

A pesar de su pequeña extensión, resulta posible distinguir tramos algo diferenciados en el territorio costero comprendido en el presente estudio, entre el eje de la calle Portugal al este y el Parque de la Memoria en el Parque Vaz Ferreira, delante de la playa de estacionamiento vehicular, en el oeste del sector en que se localizan los dos pequeños arcos de playa.

La zona rocosa, estribación de la Punta del Rodeo, constituye el extremo este de un primer y reducido sector la playa “Playa del Cerro Este”, que se extiende entre los ejes de las calles Portugal y Bogotá, aproximadamente. El arco de playa mayor, “Playa del Cerro Oeste”, se despliega aproximadamente al oeste del eje de la calle Vizcaya por unos 300 metros, cerrado por el otro promontorio rocoso, perteneciente a las estribaciones de la Punta de Lobos. Entre ambos arcos se encuentra una zona con numerosos afloramientos rocosos y alguna superficie arenosa.

A efectos de implementar los lineamientos generales de la propuesta y las actuaciones particulares, en todo el sector costero, se deben atender algunos hitos o puntos clave. Sobre éstos deberá basarse el diseño concreto.

Hitos o puntos clave:

- escaleras y rampas de acceso a la playa, por el importante desnivel existente;
- paradas y terminal de ómnibus urbanos;
- localización de casetas de guardavidas en la playa, que generan polos de atracción con mayor afluencia de público en la playa;
- estacionamientos vehiculares, con acceso previsto desde la calzada de la rambla;
- paradores, “chiringuitos”, áreas de deportes y otros servicios similares, que son atractores de público;
- explanadas peatonales, como el espacio libre Walter Ferreira, los que constituyen hitos de interés en la faja costera;
- equipamientos y mobiliario urbano, atractivos para la concurrencia de personas y puntos de concentración de asistencia en playas (canchas, equipamientos para ejercicios, juegos infantiles y otros).

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Debe tenerse en cuenta que algunos de estos hitos no están fijos y si bien su localización actual tiene ataduras en la memoria urbana del colectivo social, podrían relocalizarse y así se habrá de encarar en las etapas de proyecto ejecutivo.

4.12.3.1. Playa del Cerro Este

Este tramo se corresponde con la rambla peatonal histórica, con murete y escalinata a la playa, con barandas de tubulares de acero y parador de diseño tradicional, similar a los existentes en la costa este de la ciudad. Fue intervenida al momento de extender la rambla hacia el oeste, con alguna terminación similar a la obra nueva. Cuenta con importante arbolado y palmeras.

Entre la rambla y la playa arenosa existe una amplia zona de espacio verde, con césped, cerrado por el este con un monte de eucaliptos de gran porte. Este espacio público es de gran extensión, ya que la distancia entre la Rambla y el borde costero es algo superior a los 100 metros. El arco de playa registra piso de piedras partidas sueltas y apenas algún relicto de superficie arenosa.

En el oeste de este sector, entre las calles Bogotá y Río de Janeiro, existe un acceso vehicular, que deberá ser controlado a efectos de evitar el ingreso indiscriminado de vehículos a la playa.

En el proyecto ejecutivo, una vez avanzado el proceso de acciones para reducir las superficies de césped y de piedras, simultáneo con procurar la recuperación de área arenosa, según se ha planteado, se podría incorporar una pasarela de acceso a la playa, integrada en su diseño a la escalera actual, en el eje de la calle Portugal, bien localizada respecto al arco de playa y que coincide con la parada de ómnibus y el parador existente.

4.12.3.2. Sector rocoso intermedio

Es el tramo intermedio, en que la playa arenosa se angosta y aparece afectada por numerosos afloramientos rocosos, aproximadamente entre los ejes de las calles Bogotá y Río de Janeiro. Sobre la Rambla Suiza se encuentra la explanada Espacio Libre Walter Ferreira.

Próximo a la esquina de las calles Río de Janeiro y Suiza se localiza un conjunto edificado, que forma parte del grupo existente en la manzana entre las calles Río de Janeiro y Vizcaya. Al oeste de la calle Bogotá se localiza una multicancha de piso duro.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

En su borde este se localiza un amplio conjunto de construcciones, muy abigarradas, sobre la calle Suiza entre las calles Río de Janeiro y Vizcaya, las que reducen el ancho del espacio público de playa en ese sector.

A efectos de asegurar la continuidad espacial de la playa y el aprovechamiento integral del espacio público, se deberá completar la supresión total de las construcciones en el sector. Según la información que surge del reciente relevamiento del Municipio A, solamente existirían una media docena de hogares en condición de ocupantes, integrados por unos 14 habitantes, los que sería necesario realojar. El resto de los 15 hogares, en que residirían unas 38 personas, se encontrarían en condición de propietarios y la única acción necesaria sería la culminación de la expropiación de los 5 padrones y el pago de la correspondiente indemnización.

En este sector, deberá avanzarse en la eliminación definitiva de las vertientes de efluentes domiciliarios en la cañada Pichagua, que lo atraviesa próxima al oeste del sector. La eliminación de las construcciones existentes en el sector, facilitará el manejo del tramo final de esta cañada, el que será reconducido hacia el este, como se ha diseñado.

Sin duda, la resolución para la incorporación del suelo actualmente ocupado con edificaciones al sur de la Rambla Suiza, al espacio público de la Playa del Cerro, debiera formar parte del mejoramiento que se encare, cualquiera sea su propósito y el alcance de la intervención. En forma singular, en la actuación para la regeneración del ecosistema costero integral, requiere la continuidad del ancho total de espacio público disponible.

El prediseño de la pasarela peatonal “sendero de observación”, cuyo anteproyecto la localiza al sur e inmediato a las construcciones existentes, en el proyecto ejecutivo podría relocalizarse algo más al norte, de concretarse el retiro.

4.12.3.3. Playa del Cerro Oeste

En el contexto urbano, es la playa más extensa, ya que totaliza algo más de 3 hectáreas, Se identifica tanto en frente costero arenoso (de unos 300 metros) como en la amplitud del espacio público que la contiene, con un ancho de más de 120 metros. Se presenta como un amplio sector muy arenoso, con alguna vegetación muy rala, sin arbustivas ni arbóreas, excepto algunas palmas en su borde oeste.

La playa registra el único ingreso con accesibilidad universal, desde el borde suroeste la playa de estacionamiento vehicular en el oeste, muy alejado de la zona urbanizada, Por este mismo borde oeste es posible el ingreso informal de vehículos a la playa, para el cual se recomienda se establezca control de acceso.

Los necesarios trabajos de recuperación de dunas, totalmente disminuidas e invadidas por numerosos surcos de circulaciones informales, peatonales e incluso vehiculares, deberá acompañarse por la incorporación de pasarelas peatonales que lleguen a la zona de arena tras las dunas, próxima al borde del río, vinculadas a las dos escaleras existentes. Resulta imprescindible eliminar el ingreso directo desde las escaleras a la arena.

Las pasarelas que se diseñan atraviesan en el aire el sector de dunas reconstituidas, a partir del nivel inferior de las escaleras existentes. Aún así, el desnivel es muy importante (más de 10 metros entre el nivel de la acera y la costa), con lo cual se requiere una gran extensión de pasarela para salvar la altura, especialmente por la pendiente máxima de las rampas en condiciones de accesibilidad universal.

Se plantea realizar la adaptación de dos de los accesos costeros existentes para el arco de estudio, los cuales actualmente son escaleras de bajada.

Un primer acceso surge en la parte inferior de la escalinata de acceso existente en la calle Polonia. El otro, rampa de acceso, se prevé funcione como acceso universal desde la rambla en el acceso existente en la calle Viscaya y también como paseo interpretativo dentro de la zona del bosque costero diseñada para el borde este del arco de playa y facilitando el acceso a la zona de playa seca hacia la parte media del tramo de la playa del Cerro.

Estos accesos mitigarán el impacto actualmente existente de fragmentación del cordón dunar, y facilitarán el acceso universal a la zona costera.

La ubicación y trazado esquemático de dichas pasarelas, se presenta en la Figura 4-62.



Figura 4-62: Ubicación pasarelas proyectadas.

4.12.4. CONSIDERACIONES GENERALES A NIVEL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

Por el presente apartado se analizan las condiciones del ordenamiento territorial vigente para la zona costera de la Playa del Cerro, Montevideo, objeto de la consultoría, a efectos de considerar algunas de sus disposiciones que, desde este punto de vista, aportarían al enfrentamiento integrado de los problemas actuales y previsibles de drenaje pluvial, inundación y erosión costera.

4.12.4.1. Modelo territorial

El modelo territorial para Montevideo se encuadra en las definiciones del Plan de Ordenamiento Territorial (POT o Plan Montevideo) de setiembre de 1998, con los ajustes implementados en 2013 mediante las Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

El modelo está constituido por el conjunto integrado de disposiciones para la estructuración del territorio, incluyendo las estructuras y sistema territoriales, los usos del suelo y localización de actividades, junto con los planes y actuaciones de valor estratégico.

Las estructuras y sistemas comprenden: sistema de asentamiento, infraestructuras básicas, sistema de movilidad, espacios públicos, centralidades y equipamientos colectivos, sistema productivo, sistema de protección y sistema institucional.

El encuadre de la mencionada normativa, respecto a las temáticas consideradas por el presente estudio y para el sector, viene dado por:

- Se prestará especial atención a la preservación de los valores ambientales, al uso responsable de los recursos naturales, a la respuesta a los procesos de cambio climático y a la gestión integral del riesgo, en la búsqueda de un desarrollo integral.
- La mejora en las calidades urbanas que califican el hábitat, fomentando el desarrollo de un sistema de espacios públicos de calidad, reduciendo la vulnerabilidad ante la variabilidad climática y minimizando los riesgos socioambientales.
- El Sistema de Espacios Verdes, que incluye las costas y la bahía, determina que cumple las funciones esenciales de contribuir a mantener la calidad ambiental en todo el territorio departamental y permitir el acceso de los ciudadanos a la Naturaleza. Está compuesto por: las costas y la bahía, las áreas ecológicas significativas; los cursos de aguas, ríos y arroyos; el Cerro, los parques urbanos y departamentales; los otros parques y la trama verde superficial.

4.12.4.2. Zonificación

La categorización de suelo en el territorio departamental, actualizada por el Decreto de Directrices, determina que el suelo del amanzanado del barrio Cerro, al norte de la calle Suiza, es de categoría urbana, y su subcategoría es de Urbano Consolidado Intermedio. Por su parte, el sector del predio de la Armada Nacional es Suelo Suburbano No Habitacional Intensivo. Y, sorprendentemente, las áreas tanto de la faja costera al sur de las ramblas Suiza y Gurvich, como también del Parque Vaz Ferreira y el predio del Club de Golf del Cerro, carecen de categorización en las láminas que forman parte del Decreto de Directrices Departamentales (se hace notar que, en el SIG de la Intendencia disponible en línea, las manzanas al sur de la calle Suiza en general tienen asignados los mismos atributos que el amanzanado al norte de esta calle, contradictoriamente con las láminas del Decreto).

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

En la zonificación terciaria, el área amanzanada corresponde a Urbano Consolidado Intermedio Cerro (SUCIn Cerro) y los padrones de la Armada Nacional pertenecen a Suburbano No Habitacional Punta Lobos (SUNHI Punta Lobos).

El uso del suelo en el Suelo Urbano Consolidado Intermedio es predominantemente habitacional con servicios y equipamientos complementarios, presentando particularidades en las centralidades locales y en algunos sectores con concentración de usos no habitacionales.

En el Suelo Suburbano No Habitacional coexisten la localización industrial y logística de bajo impacto, y el uso rural. Se admite la implantación de actividades no habitacionales.

El área sin categorizar en las zonificaciones, correspondiente al Parque Vaz Ferreira y la faja costera, que forma parte del Sistema de Espacios Verdes.

El Frente Costero Montevideano forma parte de los territorios estructurantes del ámbito departamental, a los fines estratégicos vinculados a los objetivos y lineamientos, que constituye un territorio de frontera, con fuerte vocación de espacio público recreativo, a la vez que de gran fortaleza paisajística.

La Bahía, que es uno de los grandes sectores del Frente Costero, se dispone que se procurará recalificar las áreas urbanas contiguas y próximas a la bahía y se acordarán visiones estratégicas y actuaciones en común entre el Gobierno Departamental y las entidades públicas localizadas en el entorno de la bahía.

Se trata de disposiciones muy generales que establecen lineamientos adecuados para la gestión en base a plan del sector territorial comprendido en la consultoría.

Sin embargo, se reconoce la existencia de un importante vacío por la exclusión de grandes sectores de suelo de toda zonificación. Se entiende imprescindible y así se recomienda, se proceda a categorizar el suelo de dichos sectores, en especial de la faja costera al sur de la rambla (Suiza y Gurvich), del Parque Vaz Ferreira y del predio del Club de Golf del Cerro.

En el caso de la faja costera la categoría debiera ser Rural Natural, como se ha aplicado en otros sectores costeros en el oeste y está definido en el Decreto de Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial. Para el Parque podría adoptarse el criterio dominante en la categorización de suelo montevideana para los grandes parques, asignándole la categoría y subcategoría de suelo en que se inserta. Para el Club de Golf del

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP
Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Cerro se puede tomar como referencia el del Parque de las Instrucciones en Punta Carretas (en concesión al Club de Golf), que está categorizado como el suelo circundante. Seguramente deberá accionar para el perfeccionamiento en la categorización a efectos de no extender los parámetros urbanísticos propios de la subcategorización y la zonificación terciaria, a las áreas de parque y otras áreas como el Club de Golf del Cerro; que es una circunstancia que hoy se observa en los parques y otros espacios, que exhiben los parámetros (FOS, retiros, alturas, usos preferentes) correspondientes a la zona en que se encuentran, lo cual no se corresponde con el objeto de la planificación, sin dudas.

4.12.4.3. Parámetros de ocupación de suelo

Respecto a la ocupación de suelo, el Plan vigente determina, en general, únicamente: factor de ocupación máxima de suelo (FOS), retiros y alturas. Solamente en los casos de suelo suburbano no habitacional, el Plan dispone valores de impermeabilización máxima de suelo (FIS).

En el área amanzanada de Suelo Urbano Consolidado Intermedio, corresponde la aplicación simultánea de los máximos de FOS y retiros frontales (no rigen otros retiros). Esta situación normativa, genera ocupaciones de suelo bajas en el interior de los lotes.

En los padrones afectados a la Armada Nacional, en Suelo Suburbano No Habitacional, corresponde aplicar máximos de FOS (35%) y de FIS (6,5%), en este caso con 3.900 m² de superficie máxima impermeabilizada (la que se encuentra ampliamente superada en los hechos). También se encuentran afectados por retiros de 15 metros en todos sus lados.

Asimismo, aquí las áreas del Parque Vaz Ferreira y el predio del Club de Golf del Cerro, carecen de parámetros de ocupación máxima en el SIG de la Intendencia disponible en línea.

No así las de la faja costera al sur de las ramblas Suiza y Gurvich, que tiene asignado el mismo FOS que el amanzanado del Cerro. En este sector, resulta necesario sugerir se revise la asignación de FOS, en consonancia con el necesario ajuste en la zonificación como se propuso antes.

Zona	Categoría de suelo	Área mín. m ²	Frente mín. m	FOS máx. %	FOT máx. %	Permeab %	Altura máx. m
SUCIn	U Consol	200	10	60	-	-	4 - 7
	R Nat	-	-	0,5	0,5	90	4
SUNHI	SU No Hab	30.000	80	35	-	FIS 26R	7 - 12

Tabla 4-12: Parámetros Urbanísticos-Área costera de Playa del Cerro. Fuente: Elaboración propia sobre Digesto Departamental de Montevideo

Como consecuencia de que se proceda a la categorización de la faja costera como Suelo Rural Natural, queda comprendido en la limitación para esta categoría de suelo, con medidas que consideren la restricción del acceso y del desarrollo de actividades productivas, construcciones y fraccionamiento, de tal forma de proteger los ecosistemas frágiles involucrados. También está dispuesto que se establecerán planes de manejo que orienten el desarrollo de las actividades de protección y/o recuperación de los ecosistemas involucrados, atendiendo las actividades de investigación y enseñanza, y según los casos las actividades de recreación y esparcimiento controladas.

Cabe señalar también aquí, los usos preferentes establecidos por la normativa. Para el área amanzanada el uso preferente es Residencial con Servicios y Equipamientos Compatibles, en todo el sector.

Para los padrones de la Armada Nacional el uso preferente establecido es Agrario, lo cual llama también mucho la atención, tratándose de predios que históricamente han tenido destinos no agrarios. Parece necesario revisar esta disposición, teniendo en cuenta que en la categorización de suelo corresponden a Suelo Suburbano No Habitacional.

También resulta recomendable determinar los usos preferentes para las grandes áreas de suelo que no están comprendidas actualmente: faja costera al sur de la rambla (Suiza y Gurvich), Parque Vaz Ferreira y predio del Club de Golf del Cerro.

4.12.4.4. Normas para la edificación

Fuera de los parámetros urbanísticos reseñados, el departamento de Montevideo registra una muy extensa legislación para la edificación, incluida en los volúmenes IV Ordenamiento Territorial, Desarrollo Sostenible y Urbanismo y XV Planeamiento de la Edificación, del Digesto Departamental.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

La normativa vigente prohíbe, en cauces, riberas y márgenes, las obras, construcciones o actuaciones que puedan dificultar el curso de las aguas en los cauces de los ríos, arroyos y cañadas, así como en los terrenos inundables durante las crecidas no ordinarias, cualquiera sea el régimen de propiedad y la zonificación de los terrenos y de acuerdo a la legislación vigente y la competencia de los órganos correspondientes. Incorpora como una única excepción, a las obras de ingeniería orientadas al mejor manejo de las aguas.

Las normativas de edificación, en general, se pueden considerar adecuadas respecto al sistema de drenaje pluvial, particularmente en el sector territorial considerado. Las condiciones de inundabilidad actual y previsible en el futuro, no alcanzan a la rambla (José Gurvich y calle Suiza) ni al amanzanado al norte de la última de las mencionadas.

4.12.5. ASPECTOS ECONÓMICOS

Se realiza una estimación de costo preliminar considerando los principales componentes de la alternativa recomendada. Es importante destacar que el diseño de la solución se realiza a nivel de diseño conceptual, por lo tanto, el presupuesto puede variar a medida que se avance en el anteproyecto y se realice un diseño más detallado de los diferentes componentes (rubros). En la Tabla 4-13 se presentan los rubros considerados para la implementación de intervenciones, con su metraje y costos. Entre los mismos se incluyen las intervenciones limitadas y soluciones basadas en la naturaleza de pequeña escala, rubro que incluye el aporte de arena a la playa mediante camiones, la colocación de cercas captoras (repitiendo el proceso cada 3 años), la implantación de especies típicas de bosque y humedal costero y los accesos a la playa. A su vez, se incluyen las infraestructuras para adaptar las descargas pluviales. Finalmente, se presentan los rubros de monitoreo, con el objetivo de lograr un mejor entendimiento del sistema. Se incluye las campañas de medición de oleaje y nivel en la zona de estudio, así como estudios batimétricos.

En este rubrado no se incluye el costo del retiro y relocalización de las viviendas al sur de la rambla. El cual se trataría de la expropiación de 5 padrones y el realojo de 6 familias (según relevamiento del Municipio A, que estarían localizadas en 3 padrones ya expropiados).

Se estima que las expropiaciones de los 5 padrones tendrían un costo de aproximadamente US\$ 500 mil y los realojos de las 6 familias tendrían costo estimado de US\$ 700 mil. Resultando en aproximadamente US\$1.2 millones. Estos valores se obtienen en base a los

precios que se han pagado en proyectos similares por el MVOT, aunque el número final se condiciona fuertemente por la modalidad de realojo que se adopte.

Este costo no se presenta en el rubrado general y se considera de manera separada.

ALTERNATIVA: INTERVENCIONES LIMITADAS Y NBS DE PEQUEÑA ESCALA						
RUBRO	DETALLE	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Pesos uruguayos	PRECIO SUBRUBRO Pesos uruguayos	% de incidencia
1	INTERVENCIONES LIMITADAS Y Nbs DE PEQUEÑA ESCALA				14.797.000	89%
1.1	Suministro y colocación de arena en la playa	4.000,0	m3	960	3.840.000	23,1%
1.2	Cerca captoras (se repite el proceso anualmente, se consideran 3 años de repetición en el metraje)	840,0	ml	3.000	2.520.000	15,2%
1.3	Bosque costero	6.950,0	m2	800	5.560.000	33,5%
1.4	Humedal costero	1.620,0	m2	600	972.000	5,8%
1.5	Accesos	254,0	ml	7.500	1.905.000	11,5%
2	DESCARGAS PLUVIALES				479.919	3%
2.1	Cámaras de restricción de flujo para amortiguación (Estanques 1 y 2)	12,5	m3	38.400	479.919	2,9%
3	MONITOREO				1.344.000	8%
3.1	Campañas de medición de oleaje y nivel de mar				960.000	5,8%
3.1.1	Suministro de boya (medición de oleaje)	1,0	gl	384.000	384.000	2,3%
3.1.2	Instalación de boya (medición de oleaje)	1,0	gl	384.000	384.000	2,3%
3.1.3	Mantenimiento de boya (medición de oleaje)	1,0	gl	192.000	192.000	1,2%
3.2	Batimetría (debe cubrir desde las áreas dragadas para la terminal regasificadora hasta la playa del Cerro)	1,0	gl	384.000	384.000	2,3%
NOTAS Precio de oficina en pesos uruguayos Se suponen solo un 10% de imprevistos Se presenta el total con leyes pero SIN iva		SUBTOTAL SIN LEYES			16.620.918	
		IMPREVISTOS		10%	1.662.092	
		TOTAL SIN LEYES			18.283.011	
		LEYES		14%	2.559.622	
		IVA		22%	3.656.602	
		TOTAL CON LEYES S/IVA			20.842.633	

Tabla 4-13: Rubrado y estimación de costos de la alternativa propuesta.

4.13. ANTEPROYECTO

4.13.1. CONSIDERACIONES GENERALES

De la etapa de diagnóstico se desprende que para un aumento del NMM de hasta +40 cm el nivel de amenaza a las viviendas e infraestructura existentes se ve poco afectado, y que en general hay un ancho de playa y parque suficiente para permitir que se dé un proceso natural de adaptación de la playa al aumento del NMM. Los únicos bienes amenazados por inundación y erosión costera es el conjunto de construcciones sobre la calle Suiza, entre las calles Río de Janeiro y Vizcaya. Para estas se prevé completar la supresión total de las mismas, a fin de asegurar la continuidad espacial de la playa y el aprovechamiento integral del espacio público. Con esta medida se suprimirían completamente los bienes expuestos a la inundación y erosión costera actual y futura. Asimismo, en la etapa de diagnóstico se identificaron las cuencas de aporte de escurrimiento pluvial a la playa, donde se observan dos cuencas que descargan sus vertidos en la zona de estudio. La descarga 4 en particular,

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

vierte sobre la zona de mayor uso recreativo de la población, mientras que la descarga 5 (Cañada Pichuaga) descarga sobre una zona actualmente cubierta de piedra partida. A su vez, se identificaron los ecosistemas existentes y accesos a la playa en la zona de estudio.

Por otro lado, se ha detectado que la playa del Cerro ha rotado en sentido antihorario, dejando el tramo Este de la playa prácticamente inutilizable. Sin embargo, las causas de esta rotación no han podido ser explicadas con la información disponible. Si bien esta pérdida de playa no tiene consecuencias sobre el riesgo por inundación y erosión costera de las infraestructuras y bienes del tramo de costa, se entiende que el mismo implica una pérdida del valor recreativo y patrimonial del área, por lo que se sugieren las siguientes acciones. 1ª etapa: estudio detallado del fenómeno, incluyendo campañas de medición que permitan calibrar y validar los modelos utilizados. 2ª etapa: una vez identificadas las causas de la rotación de la playa, proceder al diseño de un relleno de playa para recuperación de la playa perdida y de las obras de estabilización que sean necesarias. A modo de anteproyecto se incluyen en este documento las características de los estudios a realizar en la 1ª etapa, así como un diseño conceptual de lo que con la información disponible se considera podría ser una obra de recuperación de la playa para ejecutar en la 2ª etapa. No se incluye un anteproyecto de la 2ª etapa porque la realización del mismo requiere de los resultados de la 1ª etapa.

A su vez, se incluye el anteproyecto de las amortiguaciones pluviales aguas arriba de la descarga N°4 y la reconducción de la descarga de la cañada Pichuaga hacia la zona de afloramiento rocoso. Dichas intervenciones, a realizarse en 1ª etapa, tienen como objetivo reducir el impacto de las descargas pluviales en la zona playa de mayor uso recreativo. Asimismo, en 1ª etapa, se proyecta la restauración dunar mediante cercas captoras y recarga de arena, así como la implantación de vegetación de humedal y bosque costero, como medidas basadas en la naturaleza. Finalmente, se plantea realizar la adaptación de dos accesos costeros existentes, de manera que ambos sean accesos elevados que sorteen el campo dunar, y que uno de ellos sea de accesibilidad universal y oficie de sendero de interpretación recorriendo el tramo rocoso con vegetación costera, hasta el arco de la playa del este.

4.13.2. ESTUDIO DE DETALLE PARA IDENTIFICAR LAS CAUSAS DE LA ROTACIÓN DE LA PLAYA

Existen dos vacíos de información que han limitado la capacidad de explicar las causas de la rotación de la playa del Cerro:

- no hay medidas en sitio del oleaje que permitan calibrar y validar los modelos utilizados,
- no hay batimetrías recientes de la zona que va desde el canal de Gas Sayago hasta la playa, por lo que no es posible saber si esta afectación del fondo es concomitante con la rotación de la playa o no.

Se propone por tanto como primera etapa, previo a realizar obras de relleno y estabilización de playa, se realicen campañas de medición para subsanar estos vacíos de información, así como los estudios de gabinete complementarios tendientes analizar la información generada para comprender el comportamiento reciente de la playa.

Características del estudio propuesto

El estudio deberá contemplar las siguientes actividades de relevamiento y monitoreo:

- Medición de oleaje y corrientes en la batimétrica aprox. -3.5 m Wharton, frente a la playa del Cerro, de forma continua durante al menos un año.
- Realización de una batimetría que abarque desde el canal de acceso a Montevideo al Este hasta Punta del Tigre al Oeste, y desde el canal de Gas Sayago (inclusive) al Sur hasta la playa del Cerro al Norte.
- Campañas puntuales de medición de la ola generada por el tránsito de ferris mediante el fondeo de uno o más sensores de presión.
- Relevamiento de perfiles de playa con periodicidad mensual.
- Actualización del monitoreo de la línea de costa mediante imágenes satelitales.

La información generada será utilizada para:

- Determinar si el proceso de rotación de la playa se sostiene en el tiempo.
- Estimar el estado de aterramiento del canal de Gas Sayago durante el período en que ocurrió la rotación.
- Calibrar y validar un modelo de oleaje. Verificar diferencias respecto al clima de ola generado en este estudio.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

- Calibrar y validar un modelo hidro-morfodinámico de la playa, forzado con el oleaje generado previamente.

El resultado esperable de estos estudios es que los modelos de oleaje e hidro-morfodinámico obtenidos incorporando la información local logren reproducir y explicar la rotación de la playa, lo que permitiría el diseño de las medidas de recuperación con mayor nivel de certidumbre.

Se estima que un estudio de estas características puede insumir 18 meses y tener un costo de aprox. USD 200.000.

4.13.3. RELLENO Y ESTABILIZACIÓN DEL TRAMO ESTE DE LA PLAYA

Una vez identificadas las causas de la rotación de la playa se podrá proceder al diseño de las medidas necesarias para la recuperación y conservación de esta.

De forma preliminar y al solo efecto de tener un orden de magnitud de la intervención que podría ser necesaria para la recuperación de la playa, se propone un diseño básico de relleno y obras de estabilización utilizando la información de que se dispone a la fecha.

A fin de recuperar la playa se propone un relleno de arena en 150 metros lineales de playa, 100 m en el tramo Este y 50 m en el tramo Oeste. Este relleno implica el avance de 20 m del perfil de playa, entre la cota de berma (aprox. +2 m Wh.) y la profundidad de cierre (-3 m Wh.), lo que requiere del aporte de 100 m³ de arena por metro lineal de playa (i.e. 15.000 m³ de arena en total).

Para la contención de la arena en el tramo Este se propone la construcción de un pequeño espigón de hormigón ciclópeo, de 30 m de longitud, fundado sobre el firme de roca que aflora entre los tramos Este y Oeste de la playa, de sección rectangular, de 3 m de base y altura estimada 2 m (coronado a la cota +2 m Wh.). El mismo podrá ser transitable por peatones.

La lámina L5 presenta el diseño básico de esta intervención, la cual deberá ser revisada y ajustada una vez completados los estudios de detalle descritos previamente.

4.13.4. CERCAS CAPTORAS

Las cercas captoras tienen la finalidad de fortalecer el cordón dunar primario del arco de playa del Cerro. En línea con el proyecto de restauración de duna presentado por la IM, la

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

intervención sobre el cordón dunar, busca restituir la duna primara (“front dune”). Se plantea un diseño de cercas captoras de regeneración dunar que en su diseño acompañen de la forma más orgánica posible el sistema dunar pre-existente en la playa del Cerro (ver Figura 4-63). La posición de las cercas captoras en su mayoría se ubica aproximadamente en la cota 3,21 m respecto al cero Wharton. La referencia que se considera, lo cual deberá ser chequeado al momento de ejecutar su construcción, es que la confección de las cercas se haga inmediatamente al pie de la duna pre-existente. De esta manera, se asegura la mayor eficiencia en materia de recolonización de las herbáceas psamófilas, sobre la protoduna fijada por las cercas captoras.

Las herbáceas presentes en el campo dunar, colonizan la protoduna producto de la acumulación eólica y además utilizan el material vegetal de las cercas captoras, como anclaje mecánico del sistema radicular.

Las curvaturas o ganchos de los extremos de las cercas captoras, tienen la finalidad de maximizar la captación de arena del caudal eólico proveniente de vientos “cruzados” mayoritariamente provenientes del cuadrante SW. Esa arena muchas veces con cercas “lineales” paralelas a la línea de costa, no es captada y el diseño con salientes mejora la performance de las cercas captoras en cuanto a recarga de arena.

A su vez, la forma orgánica acompañando el pie de duna y buscando la mejor captación de vientos, busca reconocer los pasajes para comunidad local y turística que visita la playa del Cerro. El sitio y el diseño de las cercas captoras junto a la infraestructura, permitirá mejorar la accesibilidad y al mismo tiempo evitar voladuras de arena fuera de la zona de playa y hacia la rambla asociada.

En suma, el esquema de colocación permitirá:

1. Evitar blow outs de arena y la invasión de arena de las vías de tránsito adyacente a la playa;
2. Un ambiente más propicio para la siembra y recuperación de la zona de “mid dune” y “back dune” de la propuesta de la IM;
3. Se espera que la recarga de arena en base a la colocación de cercas captoras favorezca el proceso de recuperación de la zona este de la playa mediante el transporte eólico de arena ingresada en el sistema de playa.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Las cercas captoras de restauración dunar se basan en experiencias realizadas en distintos sitios de la costa uruguaya con prácticas avaladas y en varias oportunidades realizadas por el Ministerio de Ambiente en coordinación con gobiernos subnacionales y organizaciones de la sociedad civil del borde costero.

Ejemplo de las mismas son:

- a) Acciones realizadas en el marco del proyecto de adaptación de la zona costera de Uruguay realizadas conjuntamente con las Intendencias de Canelones y San José.

Proyecto: Implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático en áreas costeras del Uruguay (PNUD-GEF URU/07/2013).

- b) Acciones realizadas en el marco del Programa de Desarrollo y Gestión Subnacional (PDGS II) realizadas conjuntamente con la Intendencia de Canelones.

Programa de Desarrollo y Gestión Subnacional de la Oficina de Planeamiento y Presupuesto Área de Políticas Territoriales, Préstamo No. 2668/OC-UR CP N° 002/2014 – Piloto de Gestión de Riesgos en el Departamento de Canelones- Zona Costera.

- c) Proyectos de la Dirección General de Gestión Ambiental de la Intendencia de Canelones con la Organización Social Guardianes de la Costa en Municipio de Ciudad de la Costa.
- d) Las acciones realizadas por el proyecto “Acción costera” (PNUD-GEF & Unión Europea, 2011) que realizó acciones de restauración dunar en las playas al sur y este del Municipio de La Paloma.

Se prevé la colocación de 280 metros lineales de cercas captoras dispuestas en la zona de playa “seca”, correspondientes a los 220 metros de playa seca sobre el oeste del tramo del proyecto.

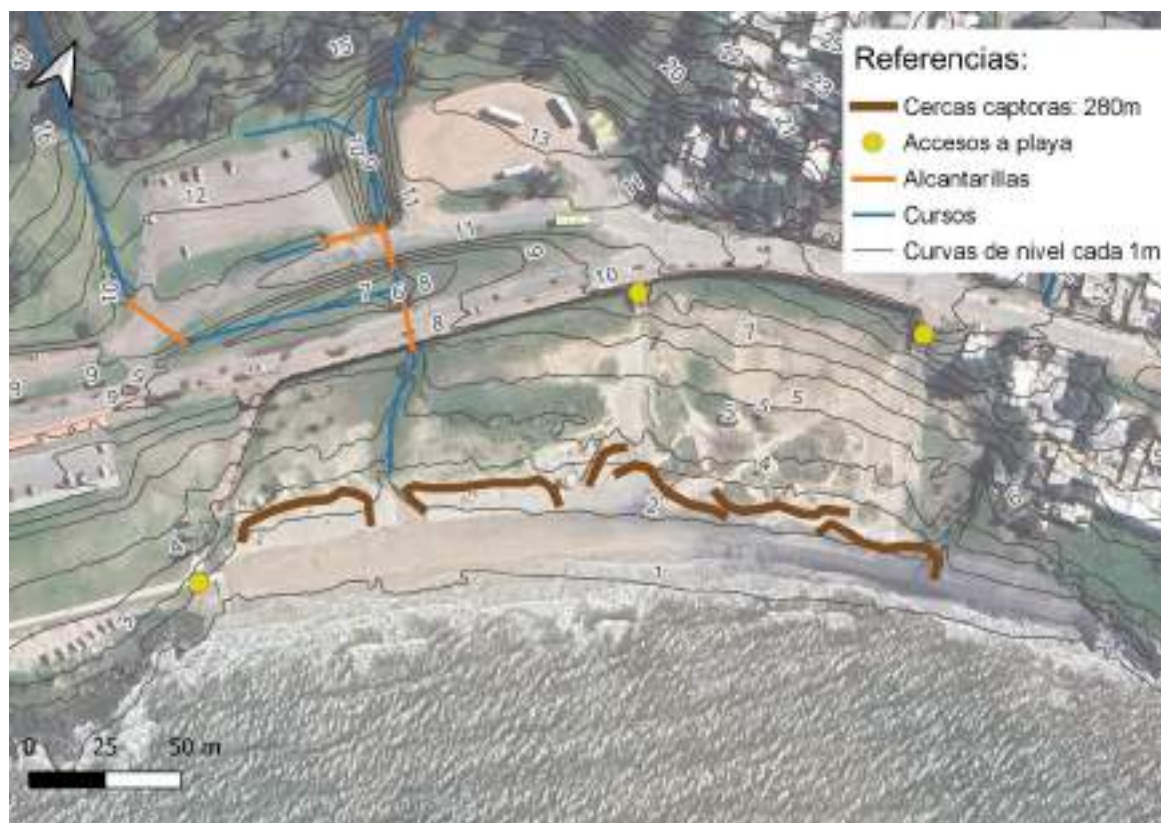


Figura 4-63: Ubicación cercas captoras propuestas en Playa del Cerro.

Metodología instalación de cercas captoras

La construcción de cercas captoras o pantallas de recuperación dunar se realizará a partir de restos de poda vegetal, comúnmente presentes en la zona (acacias y eucaliptus). La colocación del material vegetal en la zona de playa atraparé la arena movilizada por los vientos, generando una protoduna de altura y extensión variable (dependiendo de la altura y ancho de la cerca captora).

Luego de transcurrido un tiempo y gracias a los vientos que ocurren en la costa, las pantallas de recuperación se cubren totalmente de arena generando además un impacto positivo sobre el campo dunar donde se han perdido grandes volúmenes de arena. Luego de instaladas las cercas, se procede a plantar diferentes herbáceas dunares para lograr estabilizar la arena ya captada.



Figura 4-64: Detalles de los trozos de madera que se utilizan para asegurar la poda (tomado de ficha técnica n°6 proyecto URU/07/2013).

La utilización de podas e hilo sisal para la confección de pantallas de recuperación dunar, implica el uso de materiales 100 % biodegradables, lo que hace que luego de sepultada la pantalla bajo la arena estos materiales se descompongan naturalmente. Los restos vegetales serán de podas de ramas recién cortadas, para que tengan abundante follaje lo que facilita la captación de arena (Figura 4-64 y Figura 4-65).



Figura 4-65: Atado de las podas y vista del detalle de cercas captoras (tomado de ficha técnica n°6 proyecto URU/07/2013)

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Esto supone una ventaja para la continuidad del ciclo de recuperación ya que sirve como sustrato y nutriente para facilitar la fijación de herbáceas dunares, que forma parte de la siguiente fase del proceso de reconstrucción del ecosistema dunar.

El diseño de las cercas captoras o pantallas de arena, en el caso de la Playa del Cerro se realizará **en peine**. Se construye una sección de cerca en **forma paralela** a la playa, dispuesta al pie del cordón dunar en caso de que lo haya y luego se sujetan al piso con hilo tipo sisal. Las estructuras de cercas **se rematan formando un ángulo de 90°** aproximadamente con la porción de cerca paralela a la playa. La ubicación propuesta de las cercas captoras en la Playa del Cerro, se presenta en la Figura 4-63. De esta manera, se busca optimizar la captación de los vientos del oeste, especialmente en los tramos de playa más angosta y con menos volúmenes de arena.



Figura 4-66: Construcción de cercas en peine realizadas en Ciudad de la Costa 2022 (proyecto Municipio Ciudad de la Costa, Organización local Guardianes de la Costa)

Características de las cercas captoras a implantar

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Además del diseño **en peine** antes descrito, las extensiones en forma de “espiga” hacia la costa deberán considerar una sección de cercas en **forma paralela** a la playa, dispuesta al pie del cordón dunar en caso de que lo haya y luego se sujetan al piso con hilo tipo sisal.



Figura 4-67: Cercas captoras en peine realizadas en Ciudad de la Costa 2022 (proyecto Municipio Ciudad de la Costa, Organización local Guardianes de la Costa)



Figura 4-68: Resultados antes y después de colocación de cercas en Ciudad de la Costa (proyecto Municipio Ciudad de la Costa, Organización local Guardianes de la Costa)

Metodología de intervención paso a paso

1. Traslado en camión y descarga de podas en zona cercana a la intervención.
2. Selección de podas con abundante follaje y ramas finas.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

3. Traslado (manual) hacia la zona de colocación de las podas.
4. Se sitúan las podas paralelamente al cordón dunar, buscando que quede una densidad homogénea y compacta
5. Se realizan pozos delante y detrás de la pantalla de podas donde se colocarán los anclajes (troncos) para asegurar el material
6. Se atan las podas a los anclajes pasando el hilo sisal de un lado a otro de la pantalla
7. Se entierran bien los anclajes (a 0.3 m profundidad mínimo) con las ataduras para evitar que se levanten las pantallas con el viento

Se sugiere que las cercas captoras sean confeccionadas con materia orgánica proveniente del mantenimiento de las áreas verdes del propio Parque Carlos Vaz Ferreira. Se recomienda que la regeneración dunar mediante cercas captoras se desarrolle en forma recurrente año a año, en los momentos de menor uso de la zona de playa y duna (meses de invierno y comienzo de primavera). Cuando las cercas captoras se recargan completamente las nuevas a ser colocadas se ubican inmediatamente al pie de la duna ya recargada, esto hace que las herbáceas dunares colonicen en forma más veloz la nueva duna en proceso de regeneración.



Figura 4-69: Corte de duna recuperada en experiencias anteriormente documentadas donde se aprecian anclajes y ataduras con hilo sisal.

A través del monitoreo fotográfico podrá verse en todo momento la superficie de duna regenerada y tapizadas de herbáceas dunares ($m^2/año$). La propuesta plantea poder evaluar en forma semestral o inmediatamente después de eventos extremos de oleaje o lluvias, la

necesidad de activar el proceso de construcción de nuevas cercas captoras de manera de mantener la capacidad adaptativa de este elemento ecosistémico en la zona de intervención.

4.13.5. BOSQUE COSTERO NATIVO

Se considera la incorporación de parches de bosque costero, asociados al campo dunar y a los humedales costeros. Se plantea el rediseño de los espacios verdes asociados a los estacionamientos y rambla, incluyendo especies nativas presentes en los bosques litorales y psamófilos de la costa oeste del país.

Esta acción permitirá la amortiguación de eventos extremos de oleaje y de lluvia, contribuyendo a una mayor resiliencia y una disminución de la erosión costera.

Se incluyen parches de bosque nativo como delimitación de la zona de estacionamientos para vehículos particulares y terminal de ómnibus (noroeste). También se plantea la incorporación de parches de bosque costero en el cantero central de la rambla costanera.

Por último, también en el tramo este de la playa del Cerro, se plantea la forestación de parches de bosque costero en la zona interdunar y que incluyan en el tramo este un sendero de interpretación que recorra el monte nativo y la zona dunar. Estos parches de bosque poseen múltiples propósitos en materia de conservación y adaptación ecosistémica: por un lado, ayudan a evitar la salida de la arena de la zona litoral hacia la rambla costanera, además proveen un servicio de amortiguación de eventos extremos de oleaje sobre todo en el tramo este y por último ayudan a laminar e infiltrar las descargas pluviales junto a los humedales costeros.

En la Figura 4-70 se presenta la ubicación de los parches de bosque costero propuestos.

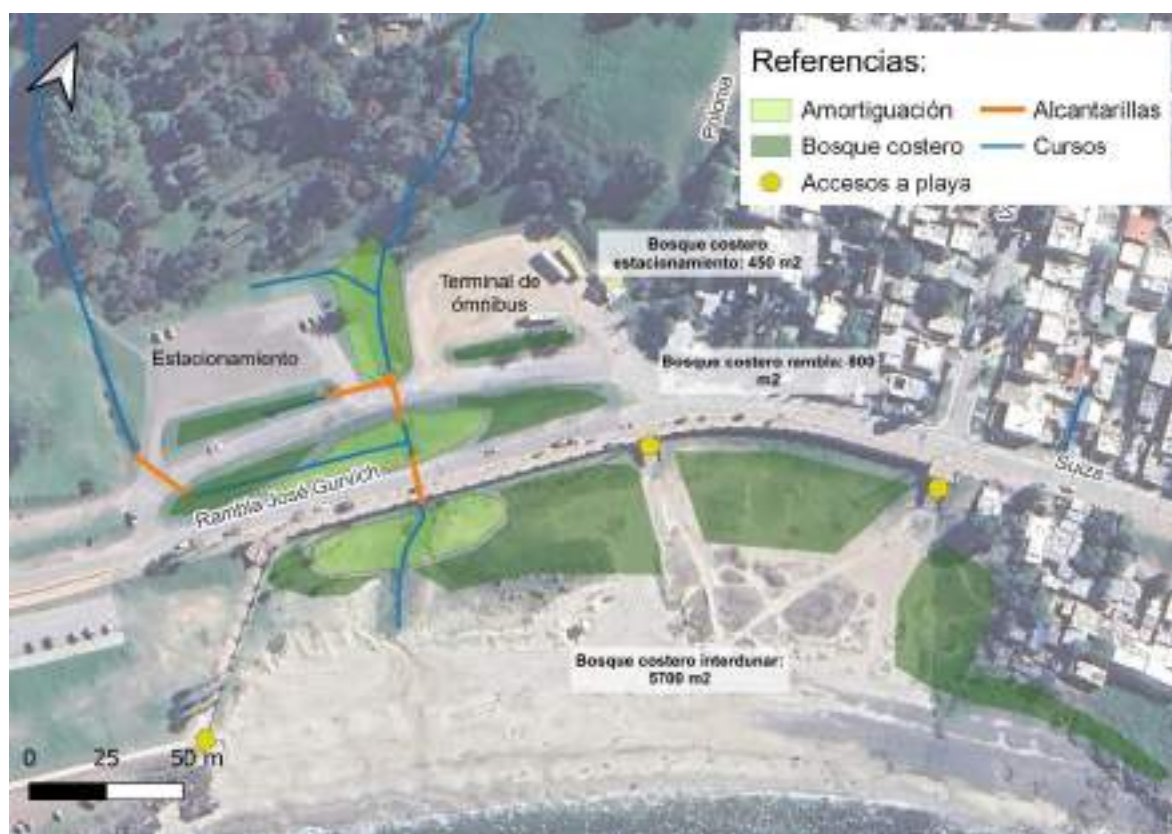


Figura 4-70: Ubicación parches de bosque costero.

Se recurrirá a las especies ya existentes para la zona oeste y que se utilizan actualmente en proceso de manejo y restauración (Parque Punta Yeguas) y se incluirán especies propias de los cordones litorales de bosque asociados a cursos de agua en las zonas adyacentes a los humedales costeros que servirán como sistema de drenaje sostenible de la cuenca que descarga a la playa del Cerro. Especies arborescentes de bosques fluviales potencialmente utilizadas serían: Sauce criolla (*Salix* sp.), Sarandí (*Phyllanthus* sp), Viraró (*Ruprechtia* sp.) Ceibo (*Erythrina* sp).

4.13.6. HUMEDALES COSTEROS PARA SISTEMAS DE DRENAJE SOSTENIBLE

En la playa del Cerro se identifican humedales pre-existentes y pequeñas cañadas de descarga pluvial a la zona costera. Se considera como parte de la propuesta, potenciar estos parches de humedales ya presentes como una medida SbN que busca recuperar, conservar

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

y mejorar la salud de estos ecosistemas claves en los procesos de amortiguación y descontaminación de aguas pluviales que drenan desde el territorio a la zona costera.

Se busca con esto potenciar el rol de los humedales costeros como áreas de transición entre los ecosistemas terrestres y marinos, y su desempeño en la protección de la biodiversidad y la prevención de la erosión costera.

Además de la función de adaptación de eventos extremos de precipitaciones, la reconstrucción y la presencia de este ecosistema acuático permite la restauración de hábitats propios de la zona costera uruguaya, albergando una variedad de especies de flora y fauna nativas.

El diseño de la propuesta para playa del Cerro, prevé un sistema de drenaje sostenible de 3 cuencos escalonados. En los dos cuencos superiores se incorporarán 800 m² de humedales en la zona de estacionamientos y rambla. El ultimo cuenco de laminación se ubica dentro del sistema de playa y estará rodeado de especies de bosque nativo y pradera costera. En dicha zona se prevé la implantación de 820 m² de humedales en la zona interdunar. Se proyecta que el cuenco sea materializado mediante una depresión interdunar de entre 0,5 m y 1,0 m de profundidad. Se plantarán sus bordes con especies nativas propias de humedales costeros, algunas ya existentes en la zona.

Estos cuencos de infiltración y laminación se plantarán con especies de macrófitas propios de los humedales costeros, como juncos, ciperáceas y totoras. Se utilizarán especialmente especies de la costa de Montevideo con especial interés para la conservación como *Hibiscus striatus* como forma de aportar en aspectos vinculados a la conservación de la biodiversidad local.

El humedal interdunar podrá presentar momentos donde debido a las lluvias sea llenado con aguas de descarga del SDS, también puede ocurrir que la zona del borde del cuenco se presente seca o apenas húmeda, mientras que la zona central de la depresión permanezca húmedo debido al afloramiento de la napa freática. En los meses estivales puede ocurrir que el sistema de humedal quede totalmente seco y que las plantas palustres se sequen para volver a rebrotar cuando tengas mejores condiciones de humedad. Se buscará especies nativas emergentes especialmente adaptada a la escasez de agua (*Juncus*, *Cyperus*, etc).

La ubicación de los cuencos y zonas donde se prevé la implantación de especies propias de humedales costeros se presenta en la Figura 4-71

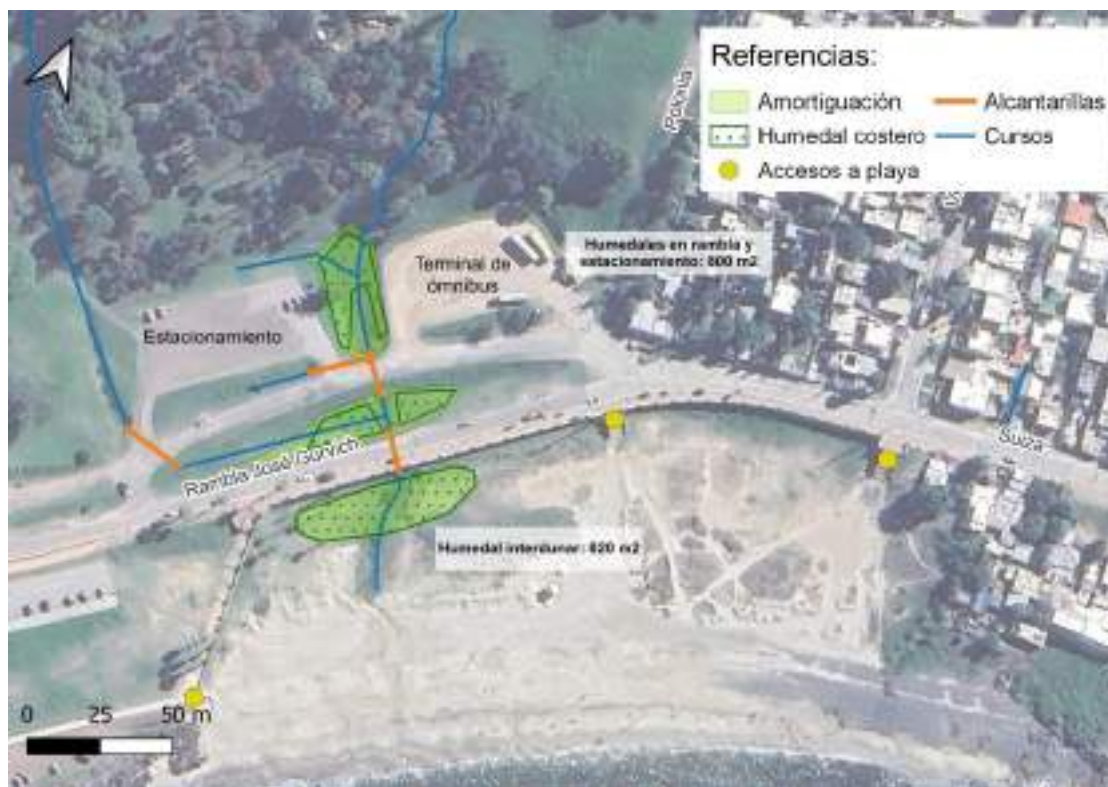


Figura 4-71: Ubicación zonas de humedal.

4.13.7. ACCESOS A LA PLAYA

Se definen dos infraestructuras de madera elevada tipo “deck” para consolidar los accesos a la costa de mayor afluencia de público. Estos accesos mitigarán el impacto actualmente existente de fragmentación del cordón dunar, y facilitarán el acceso universal a la zona costera.

En la parte inferior de la escalera existente en la calle Polonia, la pasarela planteada, con más de 90 metros lineales, salva por arriba el área reconstituida con vegetación apropiada de bosque costero interdunar, paralela a la costa localizada detrás de la duna principal.

En la escalera existente en el eje de la calle Vizcaya y con más 180 metros lineales, se plantea además un acceso universal, con rampa, cuyo diseño se asocia lateralmente con la escalera existente y se une a la pasarela de acceso a la playa. Aproximadamente en la mitad del

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

recorrido, la pasarela del este en el eje de la calle Vizcaya, da acceso a una pasarela de similares características, que oficia de sendero de interpretación al recorrer el tramo rocoso con vegetación costera, hasta el arco de la playa del este.

En las dos pasarelas de acceso se propone la incorporación de ducha, lavapiés y cartelería de información.

La ubicación en planta de dichas pasarelas se presenta en las láminas L6 y L7, mientras que el detalle de los módulos de las mismas se presenta en las láminas L8, L9 y L10.

A continuación, se presentan elementos para una guía de diseño para accesibilidad universal a la playa. Se apunta una propuesta básica orientada por los “siete principios de diseño universal” recomendados por la Organización Mundial de Turismo por un turismo accesible.

4.13.7.1. Accesibilidad al acceso de la playa

Transporte público

Las paradas de ómnibus y el itinerario necesario para acceder de éstas a la playa, deben asegurar accesibilidad universal y contar con señalización adaptada.

Estacionamiento vehicular

Debe existir estacionamiento vehicular reservado e itinerario accesible desde éste al acceso a la playa.

Información

La señalización, visible, visual y táctil, con diseño adaptado, localizada al alcance del recorrido accesible y en sus puntos notables, por lo menos debe orientar en cuanto a la dirección y distancia a la playa, servicios accesibles y su ubicación. Resulta conveniente que esté confeccionada en colores contrastantes.

Además, se debe indicar la información de recursos más elementales para promoción de una vida libre de violencia basada en género (de asesoramiento y de emergencia).

Paseo costero

El acceso a la playa debe estar conectado en forma accesible al paseo peatonal costero (el que debe contar, también, con condiciones de accesibilidad universal). Resulta conveniente

que exista zona de estar en las proximidades del acceso a la playa, sombreada, con accesibilidad universal.

4.13.7.2. Acceso de la playa

Circulaciones

Debe dotarse de circulaciones adaptadas desde fuera de la playa hasta la zona de arena húmeda.

- Las circulaciones peatonales deben contar con diseño en condiciones de accesibilidad universal, ser continuas y sin escalones o resaltos
- La pasarela debe acercarse lo más cerca posible de la orilla, para lo cual puede realizarse un último tramo con partes practicables móviles.
- Su superficie debe ser estable, sin resaltos y antideslizante (tanto seca como mojada) y su color específico debe permitir caminar descalzo. Resulta conveniente que su color sea contrastante con el de la arena.
- Se debe asegurar buena visibilidad entre tramos de circulación, por lo que deben evitarse los cambios de dirección abruptos cuando limiten la visión de un tramo sobre el siguiente.
- Las circulaciones deben contar con senda podotáctil.
- La cartelería de información y los elementos de mobiliario y equipamientos (papeleras, bebederos, duchas, lavapiés, etc.), deben estar adyacentes, pero siempre fuera del espacio de circulación. Si no son adyacentes, debe agregarse una pasarela adicional adaptada, para acceder a éstos.

Pasarelas y rampas

Las diferencias de nivel, tanto para salvar la presencia de dunas como por desnivel entre el paseo costero y la playa, deben resolverse, únicamente, mediante rampas y tramos de pasarelas.

- En las áreas dunares la superficie de circulación debe estar elevada por sobre el nivel natural de la arena.
- Ancho mínimo 1,50 metros.

- Es recomendable dotar de descansos, preferiblemente provistos de sombra, con dimensiones de 2,50 x 2,50 metros, al comienzo y final del recorrido y en puntos intermedios si éste es muy extenso.
- Pendiente longitudinal máxima 6%. Pendiente transversal máxima 1%.
- A efectos del diseño (especialmente de las barandas) las pasarelas se pueden considerar horizontales hasta una pendiente máxima del 1%.
- En caso de pavimentos discontinuos, es recomendable que las juntas entre piezas sean sin resaltes, con el mínimo ancho constructivamente posible y que no sean transversales al sentido de circulación.

Drenaje pluvial

Las pasarelas están compuestas de tablones colocados en sentido transversal y con pendiente, además de la longitudinal, en sentido transversal, por lo que no genera la concentración del escurrimiento y evita los problemas de socavación de la playa. En particular, en la parte inferior de las escaleras existentes, se plantea un modulo de descanso que evitará la socavación en el sentido de la circulación peatonal.

Servicios

El itinerario accesible debe asegurar la conectividad en condiciones de universalidad para los servicios mínimos de playa: servicios higiénicos, duchas y lavapiés, paradores, etc. (los que deben, a su vez, contar con condiciones de accesibilidad universal).

Zona de baño adaptada

Además de contar con accesibilidad universal a la arena, resulta recomendable incorporar zonas de baño adaptadas para el baño en condiciones de accesibilidad universal, señalizadas y balizadas, dotadas con el equipamiento al efecto: pasarela hasta el agua y equipos de movilidad en el agua (sillas, muletas, flotadores, chalecos y otros).

4.13.8. PASTO EXISTENTE EN ZONA INTERDUNAR Y PLAYA

La colonización de este pasto se debe mayormente a la falta de arena y al consecuente aumento de la napa. La pérdida de arena de playa, genera las condiciones para la invasión de este pasto que altera totalmente el ecosistema de dunas y pastizales interdunares característicos de este tramo de la zona costera de Montevideo y del país.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

En ese sentido, se plantean varias acciones que en forma combinada permiten el retiro de este tipo de vegetación, la prevalencia de una playa “seca” y con un sistema de dunas “saludable”. Varias de estas medidas, ya están incluidas en los apartados anteriores, pero se explica en mayor detalle su impacto sobre este tipo de vegetación.

Acciones ya previstas en la intervención:

1. Recarga con arena y restauración dunar

Estas medidas SbN combinadas permiten aumentar el volumen de arena en la playa, una mayor altura implica un alejamiento de la napa freática, lo que hace que especies de pastos invasores no encuentren las condiciones para desarrollarse. Por el contrario, la recarga de arena estimula la colonización por parte de vegetación nativa propiamente dunar, como pastos dibujantes (*Panicum* sp.) y senecios.

2. Bosque y humedales costeros

Se espera que la implantación de zonas de bosque nativo y humedales como parte del sistema de drenaje sostenible propuesto para la laminación de pluviales, implicarán un cambio en la matriz vegetal. Se espera que la playa tenga más arena en el cordón dunar primario que permitirá disminuir las “zonas de pasto” identificadas por los vecinos aumentando la calidad para el uso de la playa.

Acciones a incluir en la intervención:

1. Retiro de pasto y mejora de las condiciones de intervención

Se considera incluir la remoción del pasto al inicio de las intervenciones previstas en el proyecto. Se plantea la posibilidad de pasar un arado o tradilla con tractor, retirando el material vegetal de la playa, antes de realizar otro tipo de intervenciones (humedales del drenaje, recarga de arena, cercas captoras, plantación de vegetación interdunar).

2. Monitoreo y control de pastos invasores

Se prevé el monitoreo, control y eventual retiro de material vegetal invasor con una periodicidad anual para evitar su reinstalación.

4.13.9. ACONDICIONAMIENTO DE DESCARGAS PLUVIALES

4.13.9.1. Descarga 4 (Tramo Oeste)

En la zona aguas arriba de la descarga 4 en la playa se encuentran dos depresiones del terreno seguidas por alcantarillas en buen estado. Se propone realizar la amortiguación de los pluviales en dichas depresiones sin afectar la infraestructura existente.

Se plantea que la amortiguación se remate con un reborde de plantas palustres propias de humedales y especies de bosque litoral costero (sauce, sarandí, curupí) naturalmente presentes en este tipo de ecosistemas costeros en el Río de la Plata.

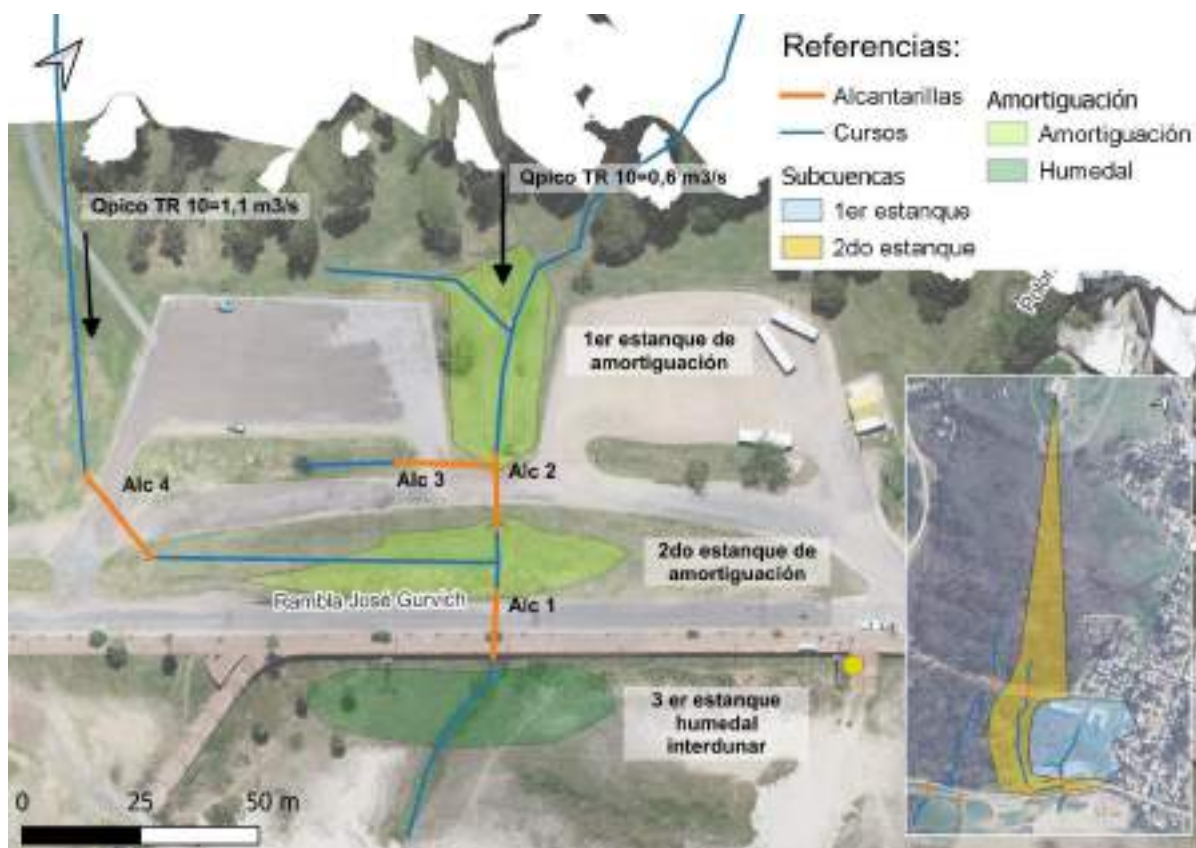


Figura 4-72: Zona aguas arriba de la descarga 4: depresiones a aprovechar para amortiguación y alcantarillas existentes.

Dichas amortiguaciones se efectúan restringiendo la salida de ambos estanques de laminación mediante una cámara con una tubería de diámetro pequeño (descarga de fondo) y un vertedero de excedencias.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

En la Figura 4-72 se presentan las zonas a utilizar para la amortiguación de pluviales, así como las alcantarillas existentes.



Figura 4-73: Zona de depresión donde se proyecta el 1er estanque de amortiguación.



Figura 4-74: Zona de depresión donde se proyecta el 2do estanque de amortiguación.

Se analizan los aportes de la cuenca a cada estanque de laminación y se calculan las tormentas de diseño asociadas a cada subcuenca. Para el diseño se utiliza la lluvia anidada de 6 horas de duración y 10 años de período de retorno, proporcionada por el Servicio de Estudios y Proyectos de Saneamiento. En la Figura 4-75 se presentan los hidrogramas de caudal relacionados a cada sub cuenca presentada en la Figura 4-72.

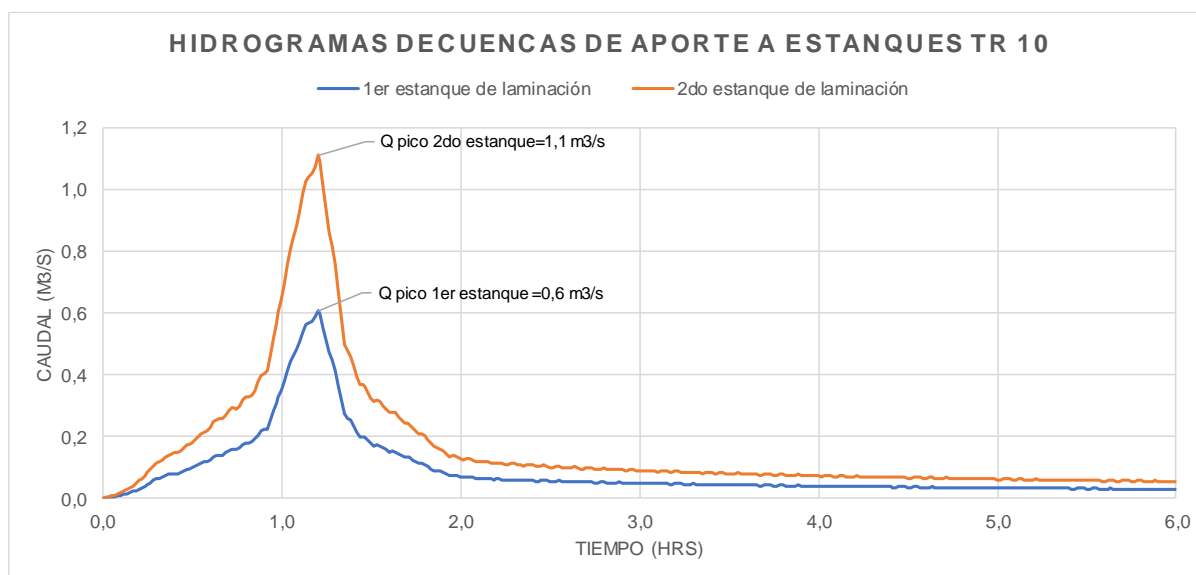


Figura 4-75: Hidrograma de aporte de las cuencas asociadas a los estanques de amortiguación para período de retorno de 10 años.

Para realizar la modelación de los estanques se utiliza el software SWMM donde se ingresa la geometría de los mismos tomada a partir de relevamiento topográfico realizado en el marco del presente estudio. En la Tabla 4-14 se presenta las relaciones altura-área para los dos estanques modelados.

1er estanque		2do estanque	
Altura (m)	Area (m²)	Altura (m)	Area (m²)
0	11	0	3
1	95	1	86
2	275	2	328
3	517	3	834
4	825		
Volumen máximo (m³)	1305	Volumen máximo (m³)	833

Tabla 4-14: Relación altura-área para ambos estanques.

Para el primer estanque se coloca una cámara que se compone de una descarga de fondo de Ø200 y un vertedero de excedencias de 20 cm de altura y 1,6 m de largo ubicado a 3,8 m del fondo. Por mayor seguridad se propone la colocación de una tapa reja en la cara superior de la cámara. Por su parte, en el segundo estanque se proyecta una cámara de iguales componentes, pero con otras dimensiones. La descarga de fondo es de diámetro Ø300 y el vertedero de excedencias de 20 cm de altura y 4 m de largo ubicado a 2,8 m del fondo. Al

igual que en la primera cámara, se proyecta la colocación de una tapa reja en la cara superior de la misma.

A partir de la modelación realizada en el software SWMM se obtienen los siguientes gráficos donde se compara el hidrograma de ingreso y su salida amortiguada para el primer y el segundo estanque para el evento de periodo de retorno igual a 10 años (Figura 4-76 y Figura 4-77). Se destaca que el hidrograma de entrada al segundo estanque se compone del hidrograma de salida del primer estanque (amortiguado) y el hidrograma de su cuenca de aporte.

Se observa que el caudal pico de salida del sistema y por ende que ingresa a la zona de playa es de $0.33 \text{ m}^3/\text{s}$ para 10 años de periodo de retorno. El caudal pico de ingreso al sistema es de $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$, el cual corresponde a la suma de los picos de los dos hidrogramas de ingreso a los amortiguadores (Figura 4-75). Por lo tanto, el sistema genera para TR 10 años una amortiguación del 81% del caudal que ingresa.

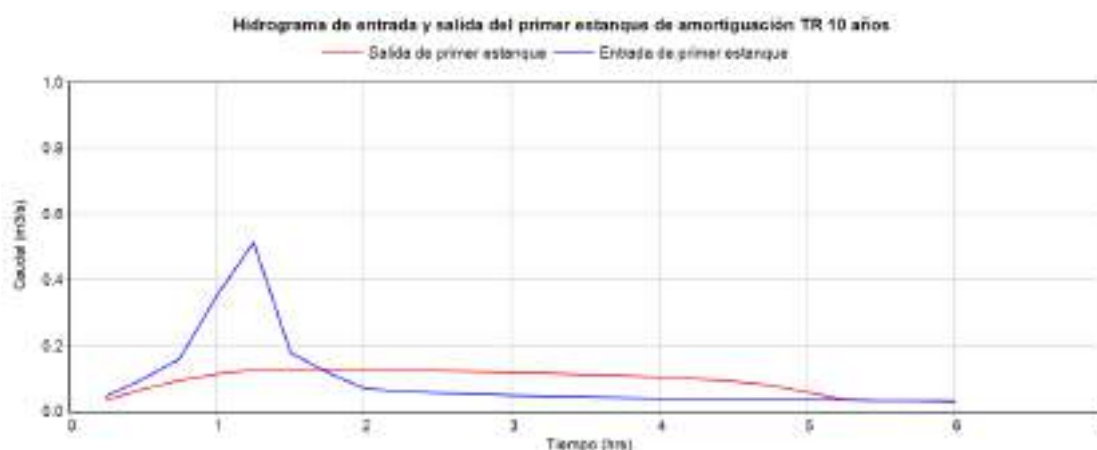


Figura 4-76: Comparación hidrograma de entrada y salida del primer estanque de laminación TR 10 años.

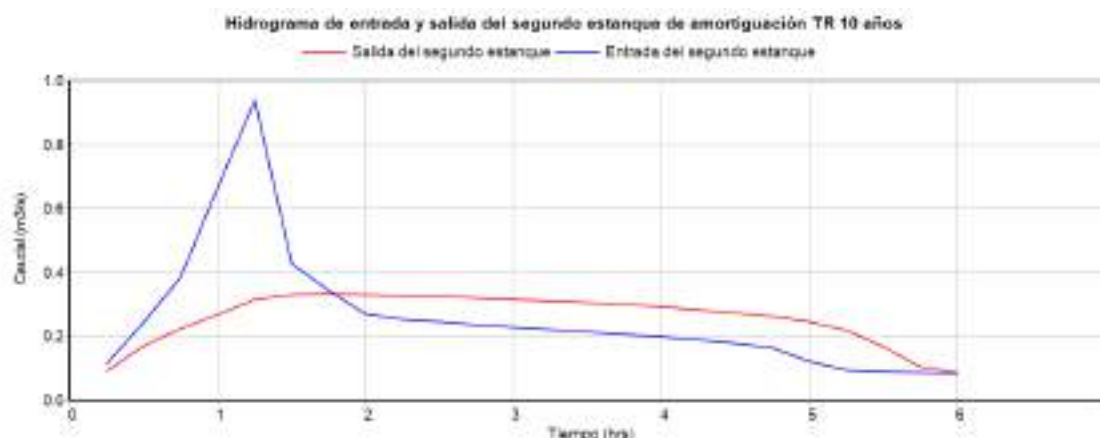


Figura 4-77: Comparación hidrograma de entrada y salida del segundo estanque de laminación TR 10 años.

Adicionalmente, se realiza la verificación de que el sistema no desborde para el evento de TR 100 años. En la Figura 4-78 y Figura 4-79 se presentan los gráficos de profundidad dentro del amortiguador 1 y 2 respectivamente, para el evento de periodo de retorno de 100 años.

El nivel máximo dentro del amortiguador 1 es de 3,88 m, estando el vertedero de excedencias a 3,8 m de altura respecto del fondo de la cámara. La profundidad de la cámara es de 4,15 m y la Rambla se encuentra 0,74m por encima de la tapa de la cámara.

El nivel máximo dentro del amortiguador 2 es de 2,96 m, estando el vertedero de excedencias a 2,8 m de altura respecto del fondo de la cámara. La profundidad de la cámara es de 3,15 m y la Rambla se encuentra 0,61m por encima de la tapa de la cámara.



Figura 4-78: Profundidad del agua dentro del amortiguador 1 para TR 100 años.



Figura 4-79: Profundidad del agua dentro del amortiguador 2 para TR 100 años.

Aguas abajo de los dos amortiguadores, en la zona vegetada, se propone realizar una pequeña depresión y ensanche de la descarga de manera que las velocidades de flujo sean bajas, propiciando la infiltración y el desarrollo del ecosistema de humedal. Ante eventos extremos, el flujo corta el humedal y descarga hacia la playa siguiendo el mismo trayecto que en la actualidad (ver Figura 4-72).

4.13.9.2. Descarga 5: Cañada Pichuaga (Tramo Oeste)

Con el objetivo de recuperar la zona de playa al sur del asentamiento, se propone la conducción de los caudales excedentes del pozo de bombeo y afloramientos de napa hacia la zona de rocas ubicada al este de la traza original de la cañada. El trazado propuesto para esta reconducción se presenta en la Figura 4-80. Debido a que se debe forzar una curva, se plantea la implantación de una protección con gaviones que evite que la descarga vuelva a su posición original.

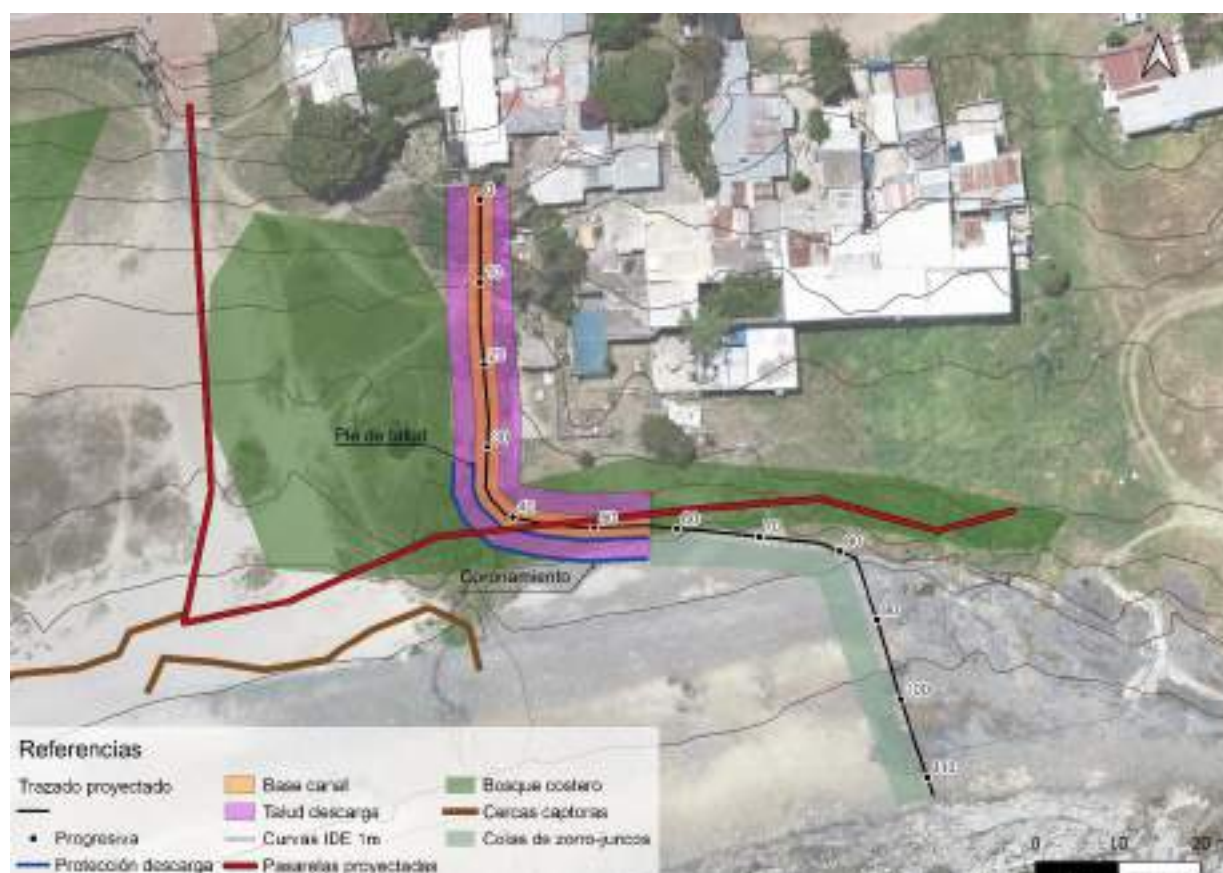


Figura 4-80: Esquema de reconducción de la Cañada Pichuaga.

Se proyecta un canal de sección trapezoidal de 3 m de base y taludes de pendiente 1:1.5. Tal como se presenta en la Figura 4-80, se propone la plantación de especies propias de bosque costero, así como una pasarela sobre la cañada que funcione como un sendero interpretativo. Asimismo, se adicionan algunas especies de bosque de humedales (ceibo, curupí, especies arborescentes de humedales interdunares) para el tramo de cañada que atraviesa el bosque. Con el objetivo de conducir la descarga lo más posible contra las rocas, se introducen especies como colas de zorro (*Cortaderia sp.*) o juncos (*Juncus sp.*) que están presentes y cumplen una función de amortiguación de pluviales o de oleaje en otras zonas rocosas de Montevideo. Esto permitiría volcar las aguas pluviales en la punta este de la zona de plantación de bosque costero, ampliando el valor del diseño del sendero interpretativo que acompaña el borde costero previsto en el proyecto. En este sentido, dada la vegetación propuesta, se utiliza un número de Manning de 0.06 (correspondiente a pocos matorrales y árboles en verano). Para salvar las diferencias de nivel que se presentan en el trazado

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

propuesto, se debe excavar entre las progresivas 36 a 80 tal como se presenta en el perfil longitudinal del terreno existente y la zona a modificar (Figura 4-81), donde resulta en dicho tramo una pendiente del 0,76%. Con la sección propuesta, la pendiente del terreno resultante, el caudal de TR 2 años (sin restar los caudales bombeados) y el número de Manning considerado para la cobertura del suelo, resulta una velocidad de 0,9 m/s para el evento de TR 2 años. La cota de coronamiento de la protección de gaviones se fija en 4,41 mWh. Con dicha cota, el evento de precipitaciones de período de retorno de 10 años queda contenido en el canal, mientras que eventos de mayor TR vierten sobre la protección de gaviones.

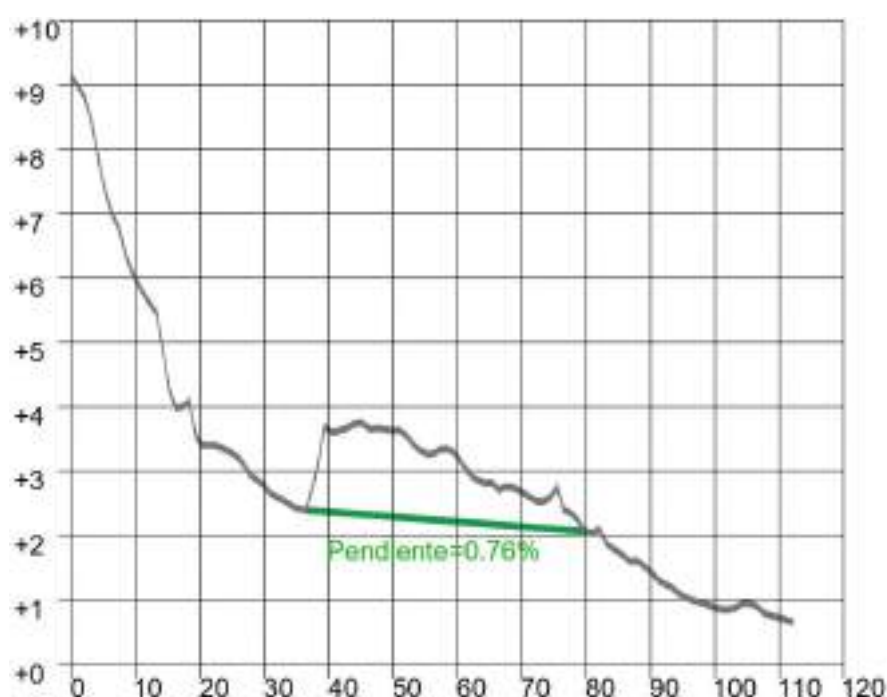


Figura 4-81: Perfil longitudinal del trazado proyectado para la Cañada Pichuaga

4.13.9.3. Acceso Oeste

Dados los problemas de erosión local que se observaron en la zona del acceso Oeste al arco de estudio, se plantea una boca de desagüe abierta (BDA) en la zona de puntos bajos previo a atravesar la explanada de la escalinata, evitando así que el escurrimiento pluvial termine en la zona de playa. Dicha BDA se conecta a una tubería de 400mm que conduce los pluviales hacia el punto bajo ubicado en la unión de las dos explanada. Para los escurrimientos provenientes del talud verde que terminan circulando longitudinal a la explanada, se propone una cuneta superficial pequeña y una red de BDA conectadas por tuberías que conducen los

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

escurrimientos hacia el mismo punto bajo que la red anterior, donde se propone cruzar por debajo de la explanada con una tubería de 400mm de diámetro y descargar en la zona de rocas (ver Figura 4-82).

Es importante mencionar que el diseño de la propuesta es a nivel de estudios básicos, dado que se carece de un relevamiento altimétrico de la zona. En la Tabla 4-15 se resumen los cálculos realizados.



Figura 4-82 Propuesta para zonas de erosión acceso Oeste

i (mm/min)	3
C imp	1
C per	0.4

Q Tramo Previo (l/s)	Area Impermeable (m ²)	Area Permeable (m ²)	Caudal Generado (l/s)	Diametro (mm)	Pendiente (%)	Nº de Manning	Tirante (mm)	(Y/D)	Velocidad (m/s)
0.0	1500	2255	120.1	400	0.5	0.013	275	0.69	1.3
0.0		987	19.7	200	1	0.013	112	0.56	1.1
19.7		811	36.0	250	0.5	0.013	178	0.71	1.0
36.0		711	50.2	300	1	0.013	153	0.51	1.4
170.3			170.3	400	1	0.013	275	0.69	1.8

Tabla 4-15 Planilla cálculo propuesta para zonas de erosión acceso Oeste

4.13.10. PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO (INTERVENCIÓN DE SEGUNDA ETAPA)

Cabe destacar que esta sección solo debe ser considerada en el caso de que se ejecute la segunda etapa de intervenciones: relleno de playa y obra de contención. Asimismo, se señala que el planteo de la obra se realiza para tener contar con una estimación de la magnitud de la obra, no como un diseño de anteproyecto.

El plan de monitoreo de la obra deberá tener como mínimo los elementos y periodicidad que se detallan en la Tabla 4-16. A continuación, se comentan algunas especificaciones mínimas para cada uno de los componentes del plan de monitoreo.

	Pre-obra	Fin de obra	Año 1	Años 2 y 3	Año 4 en adelante	Post-tormenta
Perfiles de playa	x	x	trimestral	bianual	anual	x
Granulometría de arena	x	x	anual	-	-	-
Fotografías aéreas	x	x	anual	anual	bienal	-
Oleaje y nivel de mar	x	x	x	x	-	-

Tabla 4-16 Componentes y frecuencias mínimas del plan de monitoreo de la obra.

4.13.10.1. Perfiles de playa

Se deberá realizar un levantamiento del perfil de playa desde la cota de coronamiento de la duna incluyendo el perfil sumergido. Se relevarán los mismos perfiles que fueron estudiados en la etapa 1.

Para el relevamiento de los perfiles se deberá tener en cuenta que:

- Todos los relevamientos correspondientes a un mismo perfil deberán realizarse e informarse considerando siempre el mismo origen de las progresivas, la misma

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

orientación del perfil y el mismo plano de referencia. Modificaciones de cualquiera de estos elementos a lo largo del tiempo podrán hacer que el relevamiento resulte inútil.

- El levantamiento topobatimétrico de los perfiles debe minimizar los tramos que quedan sin relevar. Teniendo en cuenta que el relevamiento de la zona de rompientes puede ser difícil de implementar con el equipamiento disponible en la zona, se recomienda realizar los relevamientos desde mar en días particularmente calmos, y los relevamientos desde tierra en momentos de bajante.

4.13.10.2. Granulometría de arena

Se recomienda tomar tres muestras de arena en cada perfil relevado. Las muestras de arena deberán tomarse siempre en los mismos perfiles y serán: una en la berma, a pie de duna, una en el frente de playa, en la zona de ascenso y descenso de la ola, y una en el perfil sumergido, a aproximadamente 50 cm de profundidad. Para cada muestra se construirá la curva granulométrica, dejando constancia de la localización y fecha exactas de la extracción de la muestra.

4.13.10.3. Fotografías aéreas

Las fotografías deberán estar georeferenciadas y podrán ser obtenidas mediante vuelos de dron. El área a cubrir por las fotografías será como mínimo la correspondiente a los relevamientos de perfiles.

Se recomienda explorar la posibilidad de realizar reconstrucción topográfica a partir de las fotografías aéreas o de dron. En este caso, deberá prestarse particular atención a mantener un adecuado registro del plano de referencia respecto al cual está referida la topografía, de modo de posibilitar la comparación entre distintos relevamientos.

4.13.10.4. Oleaje y nivel de mar

El nivel de mar se mide en el puerto de Montevideo, por lo que no se considera necesario establecer nuevas estaciones de medición en la zona. En caso de que esta medición se vea interrumpida se deberá instalar un mareógrafo en la zona de estudio.

En la zona no se mide oleaje, por lo que se recomienda incorporar una boya de pequeñas dimensiones con transmisión remota y que funcione mediante paneles solares (e.g. boyas GPS de Sofar o Datawell) ubicada frente a la zona del relleno, a profundidad 5 m aprox.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Deberá preverse al menos una campaña de mantenimiento anual para esta boya. El fondeo y las campañas de mantenimiento podrá realizarse con pequeñas embarcaciones disponibles en prefectura.

4.13.11. ASPECTOS ECONÓMICOS

Se realiza una estimación de costos considerando los principales componentes de las propuestas desarrolladas a nivel de anteproyecto, para las intervenciones de 1ª etapa y a nivel de diseño conceptual para las medidas de 2ª etapa. Es importante destacar que el diseño de la alternativa es a nivel de anteproyecto básico, por lo tanto, el presupuesto estimado puede variar a medida que se avance en el proyecto ejecutivo y se realice un diseño más detallado de las diferentes componentes (rubros).

En la Tabla 4-17 se presenta el detalle de los rubros con sus costos asociados para la intervención de etapa 1.

Por otra parte, en la Tabla 4-18 se presenta el presupuesto de oficina asociado al diseño conceptual de la intervención de segunda etapa.

INTERVENCIÓN ETAPA 1						
RUBRO	DETALLE	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Pesos uruguayos	PRECIO SUBRUBRO Pesos uruguayos	% de incidencia
1 INTERVENCIONES LIMITADAS Y Nbs DE PEQUEÑA ESCALA					16.892.750	62%
1.1	Suministro y colocación de arena en la playa para reconstrucción dunar (1era etapa)	4.000	m3	964	3.855.000	14,2%
1.2	Cerca captoras (se repite el proceso anualmente, se consideran 3 años de repetición en el metra)	840	ml	3.000	2.520.000	9,3%
1.3	Retiro de pasto	1	gl	40.000	40.000	0,1%
1.4	Bosque costero	6.950	m2	800	5.560.000	20,4%
1.5	Humedal costero	1.850	m2	600	1.110.000	4,1%
1.6	Accesos	508	ml	7.500	3.807.750	14,0%
2 DESCARGAS PLUVIALES					2.603.950	10%
2.1	Cámaras de restricción de flujo para amortiguación (Estanques 1 y 2)	17	m3	46.260	767.379	2,8%
2.2	Rejas de cámaras de amortiguación	2	Unidad	17.543	35.086	0,1%
2.3	Movimiento de suelo para conformación de canal de descarga Cañada Pichuaga	390	m3	260	101.400	0,4%
2.4	Suministro y colocación de protección con gaviones, colchones y geotextil	1	gl	1.204.025	1.204.025	4,4%
2.5	Movimiento de suelo para conformación 3er estanque de amortiguación	456	m3	260	118.560	0,4%
2.6	Acondicionamiento pluviales accesos	1	gl	377.500	377.500	1,4%
3 MONITOREO ETAPA 1					7.710.000	28%
3.1	Campaña de medición de olas y corrientes (ADCP fondeado con un tripode o similar) de 1 año + mediciones de ola de Buquebus	1	gl	3.855.000	3.855.000	14,2%
3.2	Batimetría (abarque desde el canal de acceso a Montevideo al Este hasta Punta del Tigre al Oeste, y desde el canal de Gas Sayago (inclusive) al Sur hasta la playa del Cerro al Norte)	1	gl	1.927.500	1.927.500	7,1%
3.5	Análisis de la información generada, calibración de modelos y estudio del comportamiento de la playa usando los modelos calibrados	1	gl	1.927.500	1.927.500	7,1%
NOTAS Precio de oficina en pesos uruguayos Se suponen solo un 10% de imprevistos Se presenta el total con leyes pero SIN iva				SUBTOTAL SIN LEYES	27.206.700	
				IMPREVISTOS	10%	2.720.670
				TOTAL SIN LEYES	29.927.370	
				LEYES	14%	4.189.832
				IVA	22%	5.985.474
				TOTAL CON LEYES S/IVA	34.117.202	

Tabla 4-17: Presupuesto de oficina intervención etapa 1.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

INTERVENCIÓN ETAPA 2						
RUBRO	DETALLE	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Pesos uruguayos	PRECIO SUBRUBRO Pesos uruguayos	% de incidencia
	1 RELLENO DE PLAYA Y OBRA DE CONTENCIÓN				18.133.920	81%
1.1	Suministro y colocación de arena en la playa para relleno de 150m (playa este + tramo este de playa oeste)	15.000,0	m3	964	14.456.250	64,9%
1.2	Espigón (hormigón ciclópeo)	180,0	m3	20.432	3.677.670	16,5%
	2 MONITOREO POSTERIOR A OBRA				4.148.660	19%
2.1	Campañas de relevamiento de perfiles de playa (incluye 10 campañas durante los 5 años y campañas post tormenta)	22,0	Unidad	138.780	3.053.160	13,7%
2.2	Fotografías aéreas	5,0	Unidad	70.000	350.000	1,6%
2.3	Ensayo granulométrico en perfiles de playa	1,0	gl	360.000	360.000	1,6%
2.4	Campañas de medición de oleaje	1,0	gl	385.500	385.500	1,7%
NOTAS Precio de oficina en pesos uruguayos Se suponen solo un 10% de imprevistos Se presenta el total con leyes pero SIN iva		SUBTOTAL SIN LEYES			22.282.580	
		IMPREVISTOS			10%	2.228.258
		TOTAL SIN LEYES				24.510.838
		LEYES			14%	3.431.517
		IVA			22%	4.902.168
		TOTAL CON LEYES S/IVA				27.942.355

Tabla 4-18: Presupuesto de oficina intervención etapa 2.

4.13.12. EVOLUCIÓN TEMPORAL

En la Figura 4-83 se presenta la evolución temporal del proyecto, en el cual se indica, los pasos a seguir a lo largo de la vida útil y la distribución en porcentajes de la inversión. Cabe destacar que en este esquema se presenta la evolución del proyecto tomando en cuenta que se realice la segunda etapa, hecho que está sujeto a los resultados obtenidos en la etapa 1.

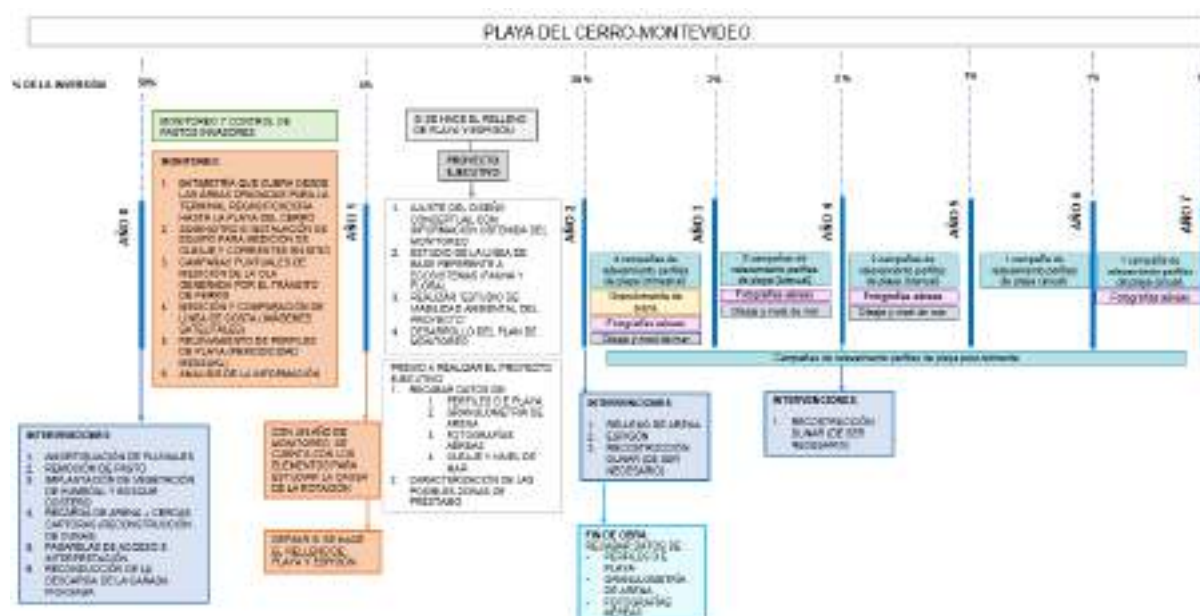


Figura 4-83: Línea de vida de las intervenciones propuestas para la playa del Cerro considerando que se realicen ambas etapas.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consortio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.13.13. ASPECTOS AMBIENTALES

Se realiza un análisis básico de los factores ambientales impactados en las etapas de construcción, operación de las intervenciones. En la etapa de proyecto ejecutivo se deberá realizar un estudio de impacto ambiental completo y su presentación ante DINACEA para su clasificación y aprobación. Además de realizar el plan de gestión ambiental de la obra.

En la Tabla 4-19 se presentan los impactos identificados según la fase de la obra (construcción y operación), el factor y aspecto ambiental.

Fase	Aspecto	Factor	Impacto
Construcción	Presencia física de la obra	Población	Percepción social negativa de la población a causa de la presencia física de la obra
		Uso de la playa	Restricción temporal al uso recreativo de la playa
		Uso de la rambla	Restricción temporal al uso recreativo del sector afectado de la rambla
		Paisaje	Afectación al paisaje por presencia física de la obra
	Suspensión de sedimento a causa del agregado de relleno de arena	Calidad del agua zona de relleno	Afectación a la calidad del agua por suspensión de sedimentos en la zona de relleno
		Fauna ictícola	Afectación a la fauna ictícola por re-suspensión de sedimentos en la zona de relleno
	Disposición de material de relleno en zona de vertido	Fauna y/o flora presente en la zona de playa seca	Afectación a fauna y/o flora por vertido de sedimentos en la zona de playa seca
	Emisiones sonoras	Nivel de presión sonora	Incremento del nivel de presión sonora producto de las emisiones sonoras de equipo de vertido de arena, transporte, colocación de estructuras de acceso, entre otros
		Población cercana a la obra	Molestias a la población cercana por el aumento de la presión sonora
	Emisión de material particulado	Calidad del aire	Incremento de la concentración de material particulado en el aire
		Población cercana a la obra	Afectación a la salud de la población cercana por aumento de la concentración de material particulado en el aire
	Transito terrestre inducido	Tránsito vehicular/peatonal usual	Afectación al transito vehicular y peatonal (circulación por la rambla) por el tránsito de camiones y maquinaria
	Generación de residuos asimilables a domésticos	Paisaje	Deterioro del paisaje por gestión inadecuada de residuos asimilables a domésticos
	Efluentes líquidos	Calidad del agua/suelo	Afectación a la calidad del agua y/o suelo (área de actuación de la obra) por gestión inadecuada de agua de lavado de maquinaria
Fase	Aspecto	Factor	Impacto
Operación	Presencia física de la obra	Dinámica costera	Modificación de la dinámica costera (procesos de transporte de sedimentos, batimetría y perfil de playa)
		Erosión	Disminución de la erosión dunar como consecuencia de la colocación de estructuras de acceso a la playa.
		Uso de la playa	Aumento del área de playa por lo que se sucede un aumento de actividades con fines recreativas y comerciales
		Paisaje	Modificación del paisaje debido al aumento de ancho de playa, por la presencia de mayor vegetación dunar así como debido a la presencia de nuevos puntos de acceso a la playa (pasarelas y sendero interpretativo).

Tabla 4-19: Identificación de impactos ambientales en la fase de construcción y operación.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

4.13.14. RECOMENDACIONES PARA PROYECTO EJECUTIVO

Previo a realizar el proyecto ejecutivo del anteproyecto y diseño básico (relleno y espigón) propuesto, se recomienda recabar datos de: perfiles de playa, granulometría de la arena actual, fotografías áreas y mediciones de oleaje y nivel de mar para ajustar el anteproyecto en función de dichos datos. Además, se deben caracterizar las posibles zonas de préstamo para extraer la arena a disponer en el relleno de playa con estudios geofísicos, cateos o consulta con canteras de la zona. En función de los resultados obtenidos se deberán ajustar los volúmenes de relleno y definir los procesos constructivos de la obra.

Por otro lado, se debe realizar un estudio de la línea de base referente a ecosistemas (fauna y flora). Se debe relevar el estado actual y definir los parámetros a controlar en el plan de monitoreo.

El plan de monitoreo propuesto se desarrollará de forma detallada, definiendo los parámetros físicos en función de los cuales se evalúe la eficiencia de la recuperación de la playa y la evolución del ecosistema impactado.

Además, en proyecto ejecutivo se debe realizar el “Estudio de viabilidad ambiental del proyecto” contemplando la matriz de impacto con identificación de aspectos y actividades. Sujeto a AAP para lo cual se requerirá o no el estudio de impacto ambiental por DINACEA.

4.13.14.1. Perspectiva de género a considerar en proyecto ejecutivo

En la realización del anteproyecto se tuvo en cuenta la perspectiva de género de manera de evitar situaciones violentas o desigualdades basadas en género. Como por ejemplo la generación de varios accesos a la playa, sin generar zonas aisladas y otros aspectos.

El proyecto ejecutivo deberá contemplar que las infraestructuras públicas no son neutras al género, es un factor esencial pues permite el acceso a los servicios básicos y a los medios de vida y favorece el desarrollo de oportunidades para todas las personas.

El desarrollo de infraestructura debe contemplar así mismo las desigualdades y contribuir a reducirlas. El desafío consiste en conciliar la planificación con el uso de una ciudadanía incluyendo temas como el uso libre de acoso a mujeres y niñas, el cuidado de personas dependientes, la convivencia, el disfrute y la calidad ambiental.

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Mayo 2024

Las decisiones sobre uso, mantenimiento, conservación, iluminación, impactan sobre la igualdad de acceso y la diversidad de población. Dado que las instalaciones de infraestructura tienen una vida útil larga y son muy costosas, deben planificarse, implementarse y gestionarse para ser sostenibles e inclusivas. Lo es cuando está planificada, implementada y gestionada prestando atención a las necesidades de la totalidad de personas usuarias finales, sobre todo de los grupos vulnerables como, los jóvenes, las personas de edad avanzada, las personas con discapacidad y las mujeres.

De esa manera es fundamental sumar acciones en la infraestructura costera que promueva ese derecho como, por ejemplo, cartelería.