



Ministerio
de Ambiente



Uruguay
Presidencia



Asociado por
la Unión Europea

Proyecto de Cooperación
Implementado por



aecid



AFD



**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 COLONIA DEL SACRAMENTO, PLAYA LA AGUADA,
PLAYA ATLÁNTIDA

ISTEC - **dica**
INGENIERÍA & asociados

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

PRODUCTO 3: INFORME DE PROPUESTAS Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS PARA PLAYA COLONIA DEL SACRAMENTO

Playa Colonia del Sacramento

Noviembre 2023

Índice

RESUMEN	1
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. PUNTOS ESTRATÉGICOS	5
2.1. Playa Colonia del Sacramento, Colonia	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	10
3.3. Instrumentos de ordenamiento territorial departamentales.....	11
3.3.1. Colonia – Playa Colonia del Sacramento	11
4. PLAYA COLONIA DEL SACRAMENTO, COLONIA.....	19
4.1. Análisis de antecedentes de ordenamiento territorial y urbanos.....	19
4.1.1. Reconocimiento del ámbito territorial de trabajo	19

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

4.1.2.	Somera recopilación y estudio de algún antecedente con eventual incidencia en la condición de la costa.....	20
4.2.	Visita al sitio.....	25
4.3.	Viento y clima marítimo.....	27
4.3.1.	Datos utilizados	27
4.3.2.	Viento	27
4.3.3.	Nivel de mar	30
4.3.4.	Oleaje	31
4.3.5.	Caracterización estadística del clima marítimo	36
4.4.	Evolución histórica de la línea de costa	44
4.4.1.	Datos utilizados	44
4.4.2.	Tendencias	45
4.4.3.	Variabilidad a corto plazo.....	49
4.5.	Transporte de sedimentos	53
4.6.	Resumen de situación actual (línea base)	56
4.7.	Proyección de evolución de la línea de costa.....	62
4.7.1.	Proyección del retroceso por déficit en el balance de sedimentos	63
4.7.2.	Proyección del retroceso por aumento del nivel medio del mar	65
4.8.	Diagnóstico de amenazas de inundación costera y erosión de playas.....	69
4.8.1.	Amenaza de inundación costera.....	69
4.8.2.	Amenaza de erosión costera	72
4.9.	Estudio de drenaje pluvial.....	75
4.9.1.	Identificación infraestructura de descarga a la costa.....	75
4.9.2.	Caracterización y trazado de cuencas	76
4.9.3.	Estudio hidrológico de cuencas	78
4.9.4.	Cálculo de capacidad de las alcantarillas.....	81

4.9.5. Diagnóstico problemática de erosión de talud (Rambla y calle Italia)	83
4.10. Propuesta y evaluación de alternativas	87
4.10.1. Criterios de diseño considerados	89
4.10.2. Consideraciones preliminares para la propuesta de alternativas.....	90
4.10.3. Alternativa propuesta	94
4.10.4. Aspectos urbanos y sociales de cada tramo	101
4.10.5. Aspectos ecosistémicos de cada tramo	104
4.10.6. Estrategia de largo plazo, Parques Resilientes, agua, arbolado, luminaria, infraestructura vial.....	112
4.10.1. Aspectos económicos	114
4.10.2. Consideraciones generales a nivel de ordenamiento territorial	115
4.11. Anteproyecto ETAPA 1	122
4.11.1. Espigón y relleno de playa	125
4.11.2. Retiro de espigón existente.....	138
4.11.3. Respecto al pie de los revestimientos existentes	139
4.11.4. Plan de monitoreo y seguimiento	140
4.11.5. Caminos de adaptación	143
4.11.1. Acondicionamiento de descargas pluviales.....	145
4.11.2. Cercas captoras de arena.....	156
4.11.3. Accesos a la playa	161
4.11.1. Aspectos económicos	164
4.11.2. Aspectos ambientales.....	167
4.11.3. Línea de tiempo de la obra	171
4.11.4. Recomendaciones para proyecto ejecutivo.....	173
4.11.5. Perspectiva de género	173

RESUMEN

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

Durante la etapa de diagnóstico se identifica la pérdida de arena del sistema con lo cual se genera el retroceso sostenido de la línea de costa y la pérdida de área de playa ante los diferentes escenarios de aumento del nivel medio del mar producto del efecto del cambio climático. Esto implica la falta de espacio suficiente para atender los requerimientos de la tormenta de 100 años de período de retorno sin que se vean amenazados bienes e infraestructura tales como la rambla.

Para mitigar las problemáticas identificadas durante el diagnóstico, se proponen las siguientes intervenciones a nivel de anteproyecto en la zona de la playa del Real de San Carlos (ver fotomontaje en Figura 0-1). Se propone la implantación de un relleno de arena, el cual se distribuye de modo de generar una ganancia de área de playa que iguale la pérdida de playa prevista en los escenarios planteados en el diagnóstico. Se proyecta la implantación de un espigón que contenga el relleno planteado y que acumule sedimento de modo de generar un avance de la línea de costa y una ganancia de área de playa para potenciar su uso recreativo. El espigón se proyecta de modo tal que el mismo sea transitable, con lo cual se crea una zona de paseo costero, y con una forma (“palo de hockey”) tal que se integre de la mejor manera al paisaje de la bahía de Colonia del Sacramento.

Asimismo, en la zona del relleno se identifica una descarga pluvial que vierte caudales de magnitudes tales que implican una afectación al relleno planteado. Por lo tanto, se propone la implantación de una laguna costera en la zona de parque que contenga el escurrimiento para caudales de estiaje y que vierta en momentos de tormenta. Esta laguna permite conducir la descarga del escurrimiento pluvial hacia la zona de menor ancho del relleno, generando así la menor afectación del uso recreativo de la playa.

Se plantea la implantación de cercas captoras y la reconstrucción del ecosistema dunar, litoral y de bosque, mediante la plantación y sustitución de especies.

Finalmente, se plantean nuevos accesos a la playa y el acceso con estacionamiento al espigón a construir.



Figura 0-1: Comparación situación actual con la situación al final de la obra proyectada.

1. INTRODUCCIÓN

El ritmo acelerado del cambio climático a nivel global y sus consecuencias, es una problemática a la que deben 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 Medio 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 3 sitios estratégicos escogidos como pilotos por parte del Ministerio de Medio Ambiente y del equipo de trabajo encargado del llamado. Los puntos seleccionados son la playa de Colonia del Sacramento, en el departamento de Colonia; la playa de La Aguada, en el departamento de Rocha y la playa de Atlántida perteneciente al departamento de Canelones. Las tres 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 3 - Colonia del Sacramento**, incluye la línea de base y el estudio de la dinámica de la línea de costa para la playa de Colonia de Sacramento. 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 para comprender la dinámica histórica de la línea de costa de cada sitio y para evaluar la respuesta del sistema ante los efectos del cambio climático y ante las alternativas que se propongan.

Teniendo en cuenta los estudios y análisis previos, se realiza 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. Además, se realiza un estudio del drenaje pluvial del sitio, identificando la infraestructura de descarga a la costa, sus cuencas de aportes y estimación de caudales.

A partir del proceso de diagnóstico y propuestas de alternativas, se desarrolla la alternativa seleccionada a nivel de anteproyecto básico. 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	L1 – DIAGNÓSTICO L2 – PLANTA GENERAL ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN
ANTEPROYECTO	L3 – PLANTA ZONA ETAPA I L4 – RELLENO DE PLAYA – ETAPA I L5 – DETALLES ESPIGÓN L6 – DETALLES DESCARGA PLUVIAL (N°16) L7 – DETALLES CUENCO DISIPACIÓN – INFILTRACIÓN L8 - IMPLANTACIÓN URBANA 1, ACCESO AV. MIHANOVICH L9 - IMPLANTACIÓN URBANA 2, ACCESO ZONA CENTRAL L10 - IMPLANTACIÓN URBANA 3, ACCESO ALEJANDRO OTAEGUI L11 - DETALLES DE ACCESOS - PLANTA Y CORTE DE MÓDULOS L12 - DETALLES DE ACCESOS - PLANTA Y CORTE DE MÓDULOS L13 - DETALLES DE ACCESOS - COMBINACIÓN DE MÓDULOS

2. PUNTOS ESTRATÉGICOS

El Ministerio de Medio Ambiente y el equipo de trabajo encargado del llamado, han seleccionado 3 sitios estratégicos como piloto de cada departamento a intervenir. Los puntos seleccionados son la playa de Colonia del Sacramento, en el departamento de Colonia; la playa de La Aguada, en el departamento de Rocha y la playa de Atlántida perteneciente al departamento de Canelones. Las tres playas seleccionadas como áreas de estudio e intervención, tienen comportamientos bien diferenciados naturalmente determinados por su ubicación.



Figura 2-1 Zona de actuación playa Colonia del Sacramento – playa Atlántida – playa La Aguada

2.1. PLAYA COLONIA DEL SACRAMENTO, COLONIA

La playa de Colonia del Sacramento, se encuentra ubicada en el departamento de Colonia, al oeste del Uruguay, lo que la caracteriza por ser parte de la costa del Río de la Plata.

La playa cuenta con una extensión de aproximadamente 3km de orilla, la cual está conformada por un conjunto de playas urbanas: playa Los Verdes, playa Real de San Carlos, playa Balneario Municipal, playa Oreja de Negro, playa El Álamo y playa Las Delicias.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

Las diferentes playas urbanas tienen un área de suelo arenoso de un ancho que varía de 15 m a 35 m en todo su recorrido, teniendo como característica diferentes tipos de vegetación asociada en su entorno más próximo, así como también suelos rocosos.

En estas playas encontramos la peculiaridad de la existencia de múltiples espigones transversales, que van dividiendo las mismas.



Figura 2-2 Zona de estudio – Playa Colonia del Sacramento

3. MARCO LEGISLATIVO DE GESTIÓN TERRITORIAL

3.1. LEGISLACIÓN NACIONAL

3.1.1. LEY MARCO DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE - LEY Nº 18308/2008 Y SUS MODIFICATIVAS

La Ley Nº 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”.

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

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

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 3° 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 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)

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

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 N° 19722/2019

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”.

3.2.2. DIRECTRICES NACIONALES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE - LEY N° 19525/2017

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”.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

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 DEPARTAMENTALES

3.3.1. COLONIA – PLAYA COLONIA DEL SACRAMENTO

3.3.1.1. Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible - Decretos Nº 036/2013 Nº 019/2014, Nº 004/2015, Nº 037/2015 y Nº 032/2016

Las Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible del departamento de Colonia, vigentes desde el año 2013, registran varias modificaciones parciales posteriores.

Incluye, entre otros, en sus principios: “el uso sostenible de los recursos naturales, la salvaguarda [sic] de la biodiversidad y ecosistemas frágiles, cumpliendo con el deber fundamental de propiciar un Modelo de Desarrollo Ambientalmente Sostenible (...) y de bajo carbono” y “proteger y preservar el medio ambiente para alcanzar un desarrollo sostenible, siendo una responsabilidad de todos quienes participan (...) en todos los procesos de transformación” (artículo 2). Estas previsiones se complementan con lo expresado en el artículo 3 (Objetivos de las Directrices): “proteger el medio ambiente mediante la creación y conservación de los espacios verdes y valorización del patrimonio natural y cultural calificando el paisaje urbano y rural; promover el uso sostenible y democrático de los recursos naturales, a modo de garantizar la biodiversidad; y prohibir la existencia de situaciones urbanas que atenten contra el medio ambiente, en particular la urbanización de zonas inundables o de lento drenaje natural, que contravengan explícitamente informes o estudios técnicos”.

Establece, mediante el artículo 11 una directriz específica sobre la faja costera. Allí dispone que “se adoptarán medidas precautorias frente a eventuales o futuros daños ambientales que

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

puedan afectar la faja costera del Departamento, teniendo en cuenta un manejo costero integrado”. “Se asegurará la accesibilidad pública a la ribera y su libre tránsito peatonal. Se promoverá que los trazados viales vehiculares cercanos y paralelos a la costa, se transformen en paseos costeros peatonales o vehiculares de baja velocidad”. “Se respetarán los procesos dinámicos naturales del espacio costero y definirán intervenciones compatibles con el mantenimiento de aquellos. Se garantizará que las intervenciones sean compatibles con el mantenimiento de la integridad de los ecosistemas y que protejan especialmente los componentes vulnerables y sus funciones”.

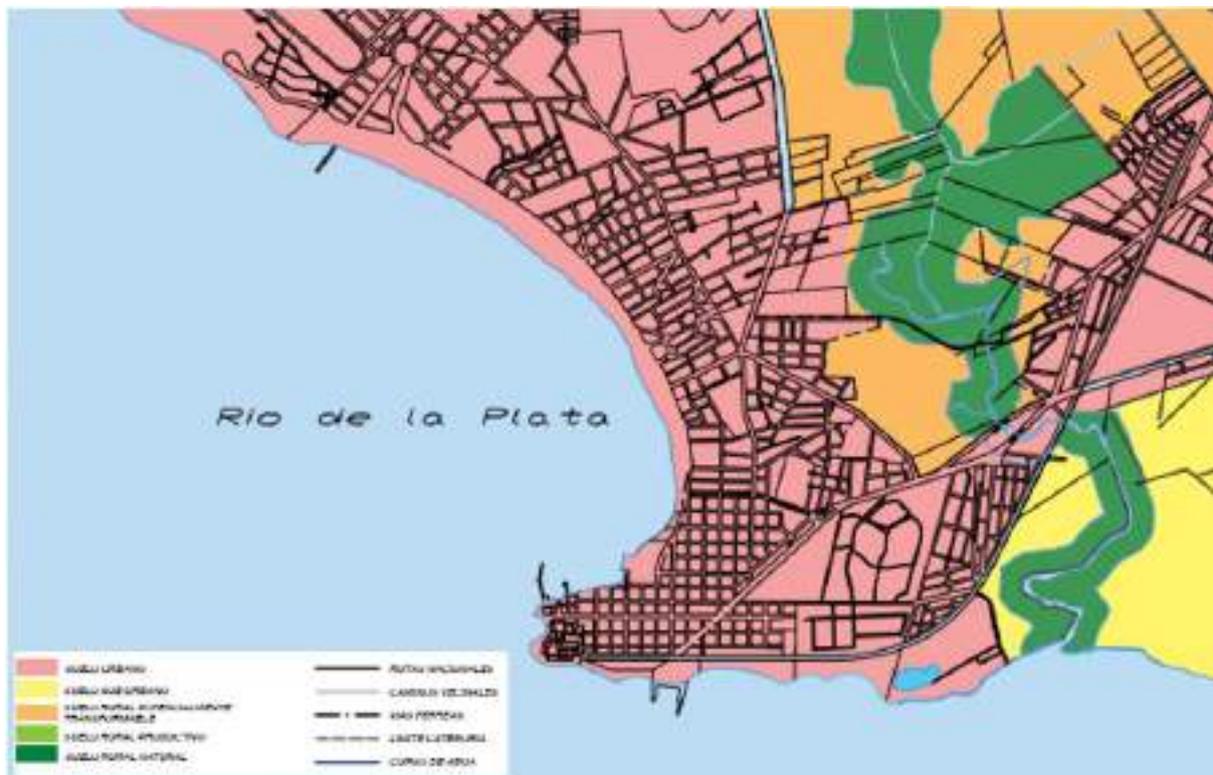


Figura 3-1 Colonia del Sacramento - Categorización de Suelo

Área de Playa de Colonia de Sacramento

Categoría de suelo: urbano (Artículo 34 y Plano N°1 Colonia del Sacramento Categorización del Suelo).

3.3.1.2. Ordenamiento Territorial del Departamento de Colonia - Decretos de: 07/11/1997, 30/07/1999, 23/03/2001 y 23/07/2004

La Ordenanza de Ordenamiento Territorial del Departamento de Colonia, vigente desde noviembre de 1997, con modificaciones posteriores, regula “su aplicación y todos los actos y

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

decisiones administrativas que sobre el territorio se realicen en las materias propias”, supeditado, entre otros, al principio de “desarrollo ambientalmente sostenible, a través de la salvaguardia y defensa de la biodiversidad, del patrimonio natural, histórico, arqueológico, cultural y arquitectónico, la defensa y fomento de la identidad cultural de la población departamental, de la calidad del hábitat y de la estructura territorial como factores de desarrollo”.

En el artículo 12º (Recursos Naturales) “se declara de interés patrimonial departamental la protección y desarrollo sostenible de sus recursos naturales, agua, suelo, costas, humedales, cursos de agua, playas, dunas, montes indígenas, lagunas, barrancas, acantilados, puntas rocosas y todo otro ecosistema frágil”.

Y por el artículo 13º se establece la “norma general” para la “Zona Costera”. Allí “se declara la faja costera de 250 mts. desde la línea de ribera del Río de la Plata y Río Uruguay, desde el borde de las barrancas, y desde el álveo de los cursos de agua navegables o flotables así como de las lagunas, como patrimonio ecológico y paisajístico departamental”. Y, consecuentemente, que “la protección de dicha faja costera se regirá por las leyes en la materia, en particular el Código de Aguas y la legislación de centros poblados y de evaluación de impacto ambiental”.

Agrega que “en los casos en que se establezca una servidumbre non edificandi de 250 mts. voluntaria, el Gobierno Departamental beneficiará a los predios costeros con derechos urbanísticos adicionales, todo lo cual quedará plasmado en un contratoplan entre la Intendencia Municipal de Colonia y los emprendedores, el que será puesto en conocimiento de la Junta Departamental una vez firmado”.

Y también, en el artículo 14º, dispone que “En todos los casos en que la donación a la Intendencia Municipal de Colonia de la faja costera de 150 mts. para uso público sea simultánea a la solicitud de autorización de fraccionamiento o de emprendimientos en predios costeros el Gobierno Departamental beneficiará a dichos predios costeros con derechos urbanísticos adicionales, los cuales quedarán establecidos en un contratoplan entre la Intendencia Municipal de Colonia y los emprendedores, el que será puesto en conocimiento de la Junta Departamental una vez firmado”.

Zona	Categoría de suelo	Área mín. m ²	Frente mín. m	FOS máx. %	FOT máx. %	Permeab. %	Altura máx. m
U1	Urbano	300	10	70			
U2	Urbano	450	12	70			

Tabla 3-1 Parámetros Urbanísticos – áreas de Playa de Colonia del Sacramento. Fuente: Artículo 8

3.3.1.3. En elaboración: Plan Local Colonia del Sacramento y su Microrregión - Julio de 2020

El proyecto de Plan Local fue puesto a consideración en Audiencia Pública en julio de 2020.

En su artículo 3º incluye entre los objetivos generales del Plan: “proteger el medio ambiente valorizando el patrimonio natural y cultural”; “promover la sostenibilidad ecosistémica en el uso de los recursos: espacio, suelo, agua, vegetación y ecosistemas frágiles”; “garantizar la biodiversidad y la diversidad cultural”; “prohibir la creación de situaciones urbanas que atenten contra el saneamiento ambiental, en particular la urbanización de zonas inundables, de difícil drenaje natural, y que provoquen la contaminación del recurso agua superficial o de subsuelo, así como evitar la ocupación de áreas de riesgo de deslizamiento” y “gestionar de manera sustentable, solidaria con las generaciones futuras, de los recursos hídricos y la preservación del ciclo hidrológico que constituyen asuntos de interés general”.

A su vez, en el artículo 14º (Ideas fuerza: Colonia, microrregión de patrimonio cultural) dispone, entre las “ideas fuerza que conforman la visión de futuro”, “una Microrregión que valoriza y recupera su costa tanto en sus dimensiones naturales como de paisaje cultural”.

Y lo confirma en el artículo 15º (Directrices estratégicas para Colonia del Sacramento y su microrregión), donde incluye una directriz específica: “una importante área costera, al noroeste de la ciudad (...), donde se ha venido desarrollando la zona residencial de mayor poder adquisitivo pero matizada con viviendas que fueron en su momento de veraneo, cooperativas de viviendas, así como, últimamente, edificios y hoteles de gran porte, que deberán racionalizarse en su construcción de modo tal de conservar la característica original y tendencial de barrio parque”.

En el artículo 18º (Régimen de suelo: zonificación) por el que define “Zonas Especiales” y “Zonas Reglamentadas”. “Constituyen Zonas Especiales aquellas que se someten para su Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas

concreción a proyectos detallados, y quedan definidas por sus contenidos de planificación, gestión, promoción, protección y objetivos estratégicos”. Plantea que “las Zonas Reglamentadas se regirán por lo dispuesto en las respectivas fichas normativas que componen el presente Plan”. A su vez, “las Zonas Reglamentadas podrán estar sometidas en todo o en parte a disposiciones propias de las Zona Especiales”.

En el Artículo 20º (Zonas especiales), para el área de la Playa de Colonia del Sacramento, se identifican dos zonas especiales: “Zona de Protección y Valorización Patrimonial y Ambiental: ZPA - Estadio” y “Zona de Protección y Valorización Patrimonial y Ambiental: ZPA - Costanera”.

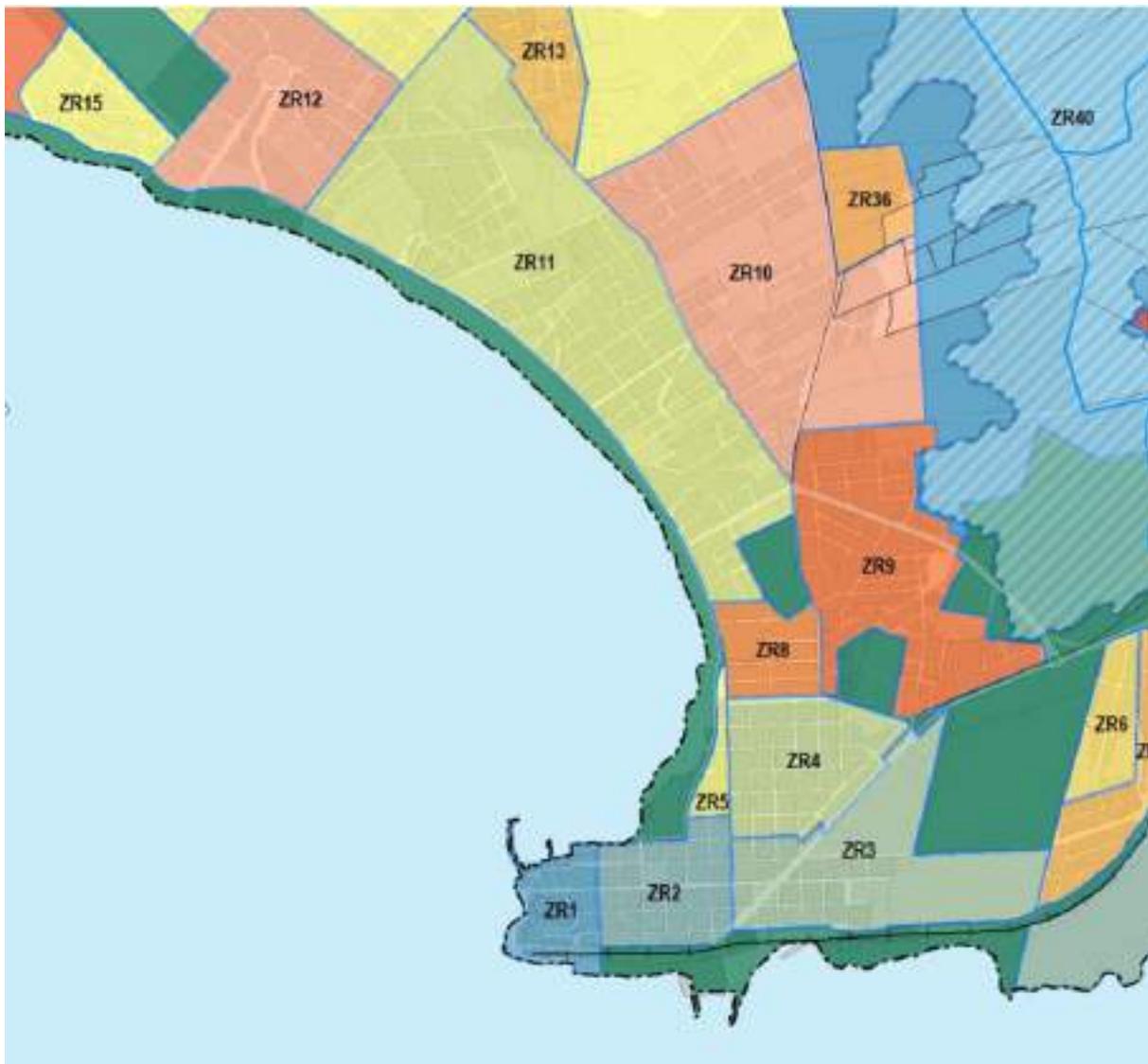


Figura 3-2 Colonia del Sacramento - Zonas Reglamentadas (Proyecto)

La ZPA - Estadio “tiene por objetivo la valorización paisajística del Estadio y su entorno, directamente vinculado al encuentro entre el puerto deportivo y la península del barrio patrimonial y la bahía de barrancos y playa de la ciudad” (artículo 27°).

La ZPA - Costanera “tiene por objetivo la valorización paisajística del conjunto del espacio público costero”. Allí “las intervenciones tendrán por cometido principal la restauración de los ecosistemas necesarios a la conservación de la estructura y conformación costera” y “los diseños de infraestructuras, instalaciones, edificaciones y equipamiento tomarán en consideración tanto la unidad del paseo costero entre el Estadio y el Sheraton inclusive, como las especificidades paisajísticas de cada tramo” (artículo 28°).

Por el artículo 47° (Zonas Reglamentadas), en el área de la Playa de Colonia del Sacramento, se disponen 10 zonas reglamentadas: ZR5 Costanera Estadio; ZR8a Barrio San José-BSJ; ZR8b BSJ-Rambla Costanera; ZR11a Bahía de Colonia-BDC; ZR11b BDC-Rambla Costanera; ZR12a Real de San Carlos-RSC; ZR12b RSC-Rambla Costanera; ZR12c RSC-Av. Mihanovich, Pza de Toros y Predios frentistas; ZR15 Barrio Sheraton; ZR16 Club de Campo Sheraton.

Zona	Categoría de suelo	Área mín. m2	Frente mín. m	FOS máx. %	FOT máx. %	Permeab. %	Altura máx. m
ZR5	Urbano	500	20	70	210		9
ZR8a	Urbano	300	10	70	140		9
ZR8b	Urbano	300	10	60	140		15
ZR11a	Urbano	500	12	60	60		9
ZR11b	Urbano	500	16	60	60		9
ZR12a	Urbano	500	12	60	60		9
ZR12b	Urbano	500	16	60	60		9
ZR12c	Urbano	500	12	60	60		9
ZR15	Urbano	1.000	20	40	80		8,50
Z516	Urbano	Es de aplicación lo establecido en el Reglamento de Copropiedad					

Tabla 3-2 Parámetros Urbanísticos (PROYECTO) - Área de Playa de Colonia de Sacramento. Fuente: Fichas normativas (artículo 18ª) del Proyecto

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

3.3.1.4. Plan de Gestión del Barrio Histórico de Colonia del Sacramento - Enero de 2012

Aunque no se trata de un instrumento de ordenamiento territorial, como su objeto se orienta a la gestión especializada (patrimonial) de un sector territorial, se incluye aquí su análisis.

El Barrio Histórico de Colonia del Sacramento está inscripto en la Lista de Patrimonio Mundial de la UNESCO desde el año 1995. En enero de 2012, el Ministerio de Educación y Cultura, a través de la Comisión del Patrimonio Cultural de la Nación y el Consejo Ejecutivo Honorario de Colonia del Sacramento, en conjunto con la Intendencia de Colonia, presentaron al Comité de Patrimonio Mundial el mencionado Plan, en cumplimiento de la recomendación realizada en la 35.ª sesión de dicho Comité en 2011. El Plan de Gestión se sintetiza una Visión Integral del Sitio Patrimonial.

Entre de los objetivos generales de Plan de Gestión, debe destacarse que plantea: “proteger y revalorizar el patrimonio legado, respetando su autenticidad e integridad”, “construir la Visión Integral del Sitio Patrimonial” y “asegurar la sustentabilidad de las acciones propuestas, tanto en el área urbana como en la fluvial e insular”, además de otros.

Como objetivos específicos, cabe subrayar que propone: “salvaguardar y revalorizar el patrimonio arquitectónico, paisajístico, urbanístico y arqueológico”, “relacionar armónicamente el Barrio Histórico con su envolvente urbana y paisajística” y “defender y calificar el paisaje natural y las calidades ambientales”, entre otros.

Y para ello, establece como orientaciones y criterios básicos: “reinterpretar las relaciones con la topografía, con las jerarquías espaciales y con las vistas sobresalientes”, “atender los elementos y vestigios arqueológicos, tanto como la documentación histórica” y “proteger la zona de factores de riesgo, tanto naturales como humanos”, como los más salientes a los efectos.

El Plan de Gestión del Barrio Histórico de Colonia del Sacramento delimita un Polígono de Actuación, en cual reconoce tres ámbitos interrelacionados: el Barrio Histórico (Sitio Patrimonial), el Área de Amortiguación Terrestre y el Área de Amortiguación Fluvial.

El Área de Amortiguación Terrestre comprende el barrio Centro y se prolonga al norte hasta la calle Zorrilla de San Martín (dos cuadras al norte de la avenida Baltasar Brum), esto es: dentro del ámbito que se analiza.

El Área de Amortiguación Fluvial abarca la totalidad de la bahía de Colonia del Sacramento hasta las tres islas De Hornos, muy al norte del ámbito considerado. Se trata de “un área de protección o tampón fluvial que resguarde los valores históricos, paisajísticos y visuales del Sitio [...], delimitándose la frontera en la línea de la costa en toda la extensión”.

El Plan también reconoce la Zona de Influencia ya que reconoce al “Barrio Histórico y, fundamentalmente, la Ciudad Histórica como conjunción unitaria de la Antigua y la Nueva Ciudad se relacionan con el territorio inmediato por vínculos históricos, paisajísticos, funcionales, emblemáticos y sociales“. En este marco conceptual, “las actuaciones en el Plan de Gestión pueden abarcar áreas mayores que las determinadas en el Polígono de Actuación”. Se trata de “ámbitos espaciales y territoriales como [...] el Real de San Carlos, los sitios arqueológicos en el exterior del Polígono, o las vías de comunicación y equipamientos urbanos y regionales que circunstancialmente complementen o distorsionen la Ciudad Histórica”.

Luego de profundos análisis de diagnóstico, de establecer la estructura y modelo de gestión y disponer los instrumentos básicos para ello, desarrolla los cinco programas de actuación.

Para el programa de manejo ambiental y paisajístico del Sitio Patrimonial se determinan sendos objetivos: la formulación del Plan de Recalificación Ambiental del Sitio Patrimonial (que incluye la acción de determinar y declarar áreas naturales y culturales a proteger) y la creación de un sistema de espacios verdes de la ciudad.

El programa de Planificación urbana y patrimonial contiene siete objetivos. El tercero de éstos, Implementar la recuperación y ampliación del paseo cultural costero sobre el Río de la Plata, propone una integración paisajística que brinde continuidad a la imagen espacial del Barrio Histórico. Por el cuarto objetivo, Proyecto de acondicionamiento paisajístico, dispone que el Área de Amortiguación Terrestre se dotará de un tratamiento particularizado, con énfasis en el aspecto paisajístico y urbanístico.

El programa de Difusión y cualificación territorial de las actividades turísticas, comprende la actuación calificadora de las actividades económicas.

El programa Conocimiento y divulgación se corresponde con la necesidad de mantener un conocimiento permanente y actualizado sobre la historia, desarrollo y construcción de la ciudad en el tiempo, así como de la realidad presente.

Y, finalmente, en el programa Cultura, cohesión social y participación crear alternativas de uso social del bien cultural, a fin de construir espacios de participación democrática en la vida ciudadana, estableciendo responsabilidades colectivas que contribuyan a la conservación del bien, así como a mejorar, directa o indirectamente, la calidad de vida de las personas.

4. PLAYA COLONIA DEL SACRAMENTO, COLONIA

4.1. ANÁLISIS DE ANTECEDENTES DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL Y URBANOS

4.1.1. RECONOCIMIENTO DEL ÁMBITO TERRITORIAL DE TRABAJO

El ámbito está constituido por el gran arco comprendido entre la playa (humedal) Las Delicias y la playa Los Verdes. Quedan así comprendidos los sectores de playa denominados: Las Delicias, Las Tunas, El Álamo, Oreja de Negro, Balneario Municipal, Real de San Carlos, Del Real y Los Verdes.



Figura 4-1 Playas urbanas de Colonia del Sacramento

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

A lo largo de todo el sector recorre la Rambla de las Américas. Se trata de un potente vínculo vial, acompañado de acera peatonal continua del lado de la costa. No es así en el borde opuesto, que carece, en general, de vereda.

En el suelo urbano inmediato a la costa se pueden observar realidades diferenciadas, desde el tejido urbano consolidado del Centro hasta sectores con menor infraestructura urbana y sectores suelo vacante.

4.1.2. SOMERA RECOPIACIÓN Y ESTUDIO DE ALGÚN ANTECEDENTE CON EVENTUAL INCIDENCIA EN LA CONDICIÓN DE LA COSTA

4.1.2.1. Dinámicas territoriales

El frente urbano costero registra una fuerte dinámica inmobiliaria, constituyendo un sector en transformación, particularmente hacia el oeste del Centro.

De este a oeste, el primer sector es el Centro, con tejido urbano consolidado, infraestructuras urbanas completas, calles con veredas, calzada de material asfáltico, cordones y bocas de tormenta. Registra buen arbolado urbano alineado.

Al norte de la avenida Baltasar Brum, el paisaje urbano no cambia significativamente, aunque las manzanas ya no son cuadradas, sino que oblongas con desarrollo perpendicular al río. Las calzadas son con cordón cuneta y escurrimiento superficial.

Esta realidad sufre una gradual transición al norte del gran espacio libre del Club Juventud, con la desaparición de las aceras y aumento de las áreas verdes en los predios privados.

Hacia el oeste de la avenida González Moreno, junto con el parque Otto Wulff y otros espacios libres, comienzan a aparecer importantes áreas de suelo vacante. También un poco más al oeste, se observan sectores con calzadas sin cordón ni cordón cuneta, aunque no siempre existen cunetas.

Más al oeste, a partir de un entorno con centro en la calle Vilamajó, el perfil de las calles es rural, con cunetas y sin veredas. El verde urbano ya no es por arbolado alineado sino por el existente en los predios privados y en los frecuentes predios sin uso aparente o vacantes.

4.1.2.2. Catastro

En el Centro, el amanzanado es sumamente regular, con manzanas cuadradas de unos 85 metros de lado y padrones de variadas formas, que registran las trazas territoriales

preexistentes a la urbanización. Los predios tienen superficies muy disímiles, desde menos de 200 m² a francamente mayores, de más de 1.000 m².

Hacia el norte, existe otro amanzanado regular, de manzanas oblongas, con padrones también muy regulares, en el orden de poco más de 300 m², con algunas excepciones de predios de mayor área.

A partir de la avenida González Moreno, hacia el oeste, comienzan a aparecer algunas manzanas irregulares, aunque siguen predominando las rectangulares, pero, en ambas situaciones, con menor superficie de manzana. La superficie de los padrones se mantiene en el valor reseñado.

La irregularidad en el amanzanado, forma, tamaño y disposición de las manzanas, es cada vez más frecuente al acercarse al Real de San Carlos, aunque los padrones siguen siendo de similar superficie, con algunas excepciones, particularmente los grandes predios vacantes.

Hacia el oeste de la avenida Mihanovich, los padrones se vuelven de algo mayor superficie, en el orden de los 600 m².

Se identifican 8 padrones localizados entre la rambla actualmente existente y la costa sobre los que se consulta sobre la situación dominial y la existencia de cualquier gestión tramitada o en trámite en la Intendencia Departamental de Colonia.

De acuerdo con lo informado por la Intendencia de Colonia al Ministerio de Ambiente, los ocho padrones objeto de consulta, serían de propiedad de la Intendencia, o de la "Intendencia-Fiscal" o de la "Intendencia-Fiscal-Público". Sin embargo, en la información preliminar sobre dos padrones, obtenida del Registro y recibida del Ministerio de Ambiente, se indicaba que dos de éstos serían de propiedad privada. Será importante una profundización en la breve información de la intendencia para la etapa posterior de anteproyecto.

padrón N.º	manzana N.º	área m²	destino observado (13-02-23)	informado por Ministerio de Ambiente
3008	2	640	PLAYA	PROPIETARIO INTENDENCIA-FISCAL-PUBLICO*
3009	236	37.904	PLAYA y parador	PROPIETARIO INTENDENCIA-FISCAL-PUBLICO*
3059	425	8.105	PLAYA	01/01/1972 COMPRAVENTA** PROPIETARIO INTENDENCIA-FISCAL-PUBLICO*
3149	422	148.310	PLAYA	PROPIETARIO INTENDENCIA-FISCAL-PUBLICO*
959	64	4.310	vacante (humedal)	PROPIETARIO INTENDENCIA-FISCAL*
687	42	816	vacante (humedal)	PROPIETARIO INTENDENCIA-FISCAL*
487	22	4.444	construido gimnasio Campus	01/01/1982 SUCESION** PROPIETARIO INTENDENCIA*
8852	22	56.228	construido Campus	PROPIETARIO INTENDENCIA*

Fuente: <https://visor.catastro.gub.uy/visordnc/> y https://visualizador.ide.uy/ideuy/core/load_public_project/ideuy/ - consulta: 02-03-23

* Fuente: mail de Santellan Melissa (santellan.melissa@gmail.com) Fecha: El Jue, 25 de mar. de 2025 a la(s) 20:57

** Fuente: archivo "Padrones de Colonia DGR.pdf" recibido del MA 22/03/2023

Tabla 4-1 Padrones costeros Colonia del Sacramento



Figura 4-2 Padrones costeros Playa Colonia del Sacramento

4.1.2.3. Infraestructuras y servicios urbanos

La totalidad del sector urbano considerado registra las infraestructuras urbanas: red de energía eléctrica, red de agua potable, alumbrado público y calzadas vehiculares con pavimento asfáltico. En el barrio Centro y hasta la avenida Baltasar Brum, se verifican aceras pavimentadas y arbolado urbano alineado, realidad que se prolonga parcialmente hasta la avenida González Moreno.

En el barrio Centro existe red de saneamiento, la que se extiende parcialmente hacia el ámbito considerado. En el Centro existe canalización de pluviales con bocas de tormenta, en el resto del ámbito territorial la conducción es superficial, mediante cordón cuneta en las proximidades del Centro y por cunetas en el resto, más alejado.

4.1.2.4. Ocupación de suelo

Se constata un gradiente en la densidad de ocupación de suelo. En el Centro y sus proximidades, la ocupación del suelo es intensa, con un anillo totalmente edificado y, en la mayoría de los casos, el corazón de manzana verde, libre o con escasas construcciones. A medida del alejamiento hacia el norte/oeste, la ocupación descende, sobre todo por la aparición de retiros frontales a partir de la avenida Baltasar Brum. La ocupación sigue descendiendo al norte de la avenida González Moreno, por la creciente existencia de retiros laterales.

La singularidad, en este panorama, está constituida por el frente a la Rambla de las Américas, donde se observan algunos edificios en altura, que constituyen la avanzada de un proceso de sustitución en curso y los que se combinan con grandes predios vacantes.

4.1.2.5. Usos y temporalidad

La antigüedad de la información censal no brinda una información actualizada al respecto. Aun así, la información disponible permite evaluar que se trata de un ámbito urbano preferentemente de residencia permanente, solamente matizado por la presencia de hotelería, dispersa en la primera línea con frente a la Rambla de las Américas.

Los establecimientos de servicios son muy escasos en el área y se trata de servicios a la población, preferentemente de uso cotidiano. En general se concentran sobre las avenidas, caso de Aparicio Saravia, L. A. de Herrera, Roger Balet y otras, o en el amanzanado del Centro.

4.1.2.6. Sociedad local y población flotante, enfoque de género y generaciones

El ámbito considerado es un área urbana con residencia permanente, predominantemente de viviendas unifamiliares y condiciones de vida barrial. La excepción está constituida por algunos edificios de vivienda colectiva, de hasta cinco niveles, con frente a la Rambla de las Américas.

No se registra una oferta importante de viviendas en alquiler temporal. Sí, se informa que algunas de las viviendas no serían de residencia permanente.

4.1.2.7. Patrimonio natural, cultural

El Plan de Gestión del Barrio Histórico de Colonia del Sacramento (de enero de 2012) delimita un Polígono de Actuación, en cual reconoce tres ámbitos interrelacionados: el Barrio Histórico (Sitio Patrimonial), el Área de Amortiguación Terrestre y el Área de Amortiguación Fluvial.

El Área de Amortiguación Terrestre comprende el barrio Centro y se prolonga al norte hasta la calle Zorrilla de San Martín (dos cuadras al norte de la avenida Baltasar Brum), esto es: dentro del ámbito que se analiza.

El Área de Amortiguación Fluvial abarca la totalidad de la bahía de Colonia del Sacramento hasta las tres islas De Hornos, muy al norte del ámbito considerado. Se trata de “un área de protección o tapón fluvial que resguarde los valores históricos, paisajísticos y visuales del Sitio [...], delimitándose la frontera en la línea de la costa en toda la extensión”.

4.1.2.8. Marco legal de ordenamiento territorial

El departamento de Colonia registra una escueta legislación de ordenamiento territorial referida a Colonia del Sacramento. Desde julio de 2020 se encuentra en consideración la elaboración del Plan Local Colonia del Sacramento y su Microrregión, con el cual se avanzaría en el marco normativo para la gestión planificada del territorio.

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

4.2. VISITA AL SITIO

En el mes de febrero se realizaron las recorridas de campo para el reconocimiento del espacio a intervenir y de su área de influencia. Se recorrió el arco de playa de Colonia y la Rambla, registrando el estado de las playas, protecciones y espigones existentes, vegetación, áreas de parque y descargas pluviales.



Las Delicias (Rambla y calle Río Negro)



Las Delicias (Rambla y calle Italia)



Zona en que el agua de la calle desborda y erosiona el talud (Rambla y calle Italia)



Pluvial en mal estado (Playa El Álamo)



Descarga del pluvial que atraviesa la cancha del Club Juventus (playa El Álamo). La Rambla está a por lo menos 4 metros por arriba del nivel de la cancha.



Espigón (calle Mauricio Cravotto)



Protección (entre calle Mauricio Cravotto y Francisco Soca)



Descarga pluvial (calle Manuel Caballero)



Zona de parque (Parque Municipal)



Espigón (calle Eloy Perazza)



Descarga Pluvial (calle Eloy Perazza)



Playa hacia el Norte de la zona de estudio

4.3. VIENTO Y CLIMA MARÍTIMO

4.3.1. DATOS UTILIZADOS

Se utilizan las siguientes series de datos:

- Viento y oleaje del reanálisis global ERA5.
- Viento medido en Pilote Norden.
- Oleaje medido por el IMFIA frente a Colonia del Sacramento.
- Nivel de mar medido por DNH/DINAGUA en el puerto deportivo de Colonia.
- Nivel de mar medido por ANP en el puerto comercial de Colonia.
- Nivel de mar del hindcast global GTSM.
- Nivel de mar del hindcast local generado por el IMFIA.

4.3.2. VIENTO

Se utiliza el viento del reanálisis ERA-5 correspondiente al nodo (34.5°S,58°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 4-3 presenta una comparación de cuantiles de la velocidad de viento del reanálisis con la velocidad de viento medida en la estación de Pilote Norden. 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

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

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 4-3, pero calculados para distintas ventanas direccionales. En la calibración de los parámetros se utilizan únicamente los datos simultáneos de ERA5 y Pilote Norden.

La Figura 4-4 presenta los coeficientes direccionales $A(\theta)$, $B(\theta)$ y $C(\theta)$ obtenidos. La Figura 4-5 presenta la comparación de cuantiles entre la velocidad de viento del reanálisis corregida y la velocidad de viento medida en Pilote Norden; se observa que el reanálisis corregido reproduce adecuadamente las velocidades de viento medidas en el mar.

Por último, la Figura 4-6 compara el histograma de frecuencias de la dirección de viento del reanálisis con el obtenido a partir de los datos medidos en Pilote Norden. 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.

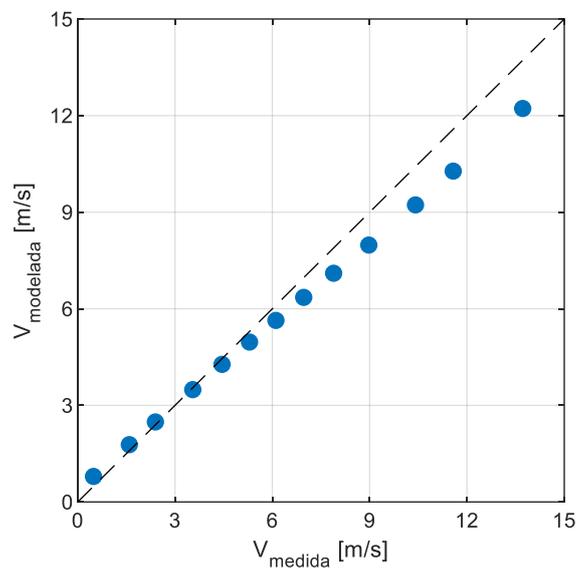


Figura 4-3 Gráfico de cuantiles de velocidad de viento sin calibrar (datos simultáneos, $p=[1\ 5\ 10:90\ 95\ 99]$)

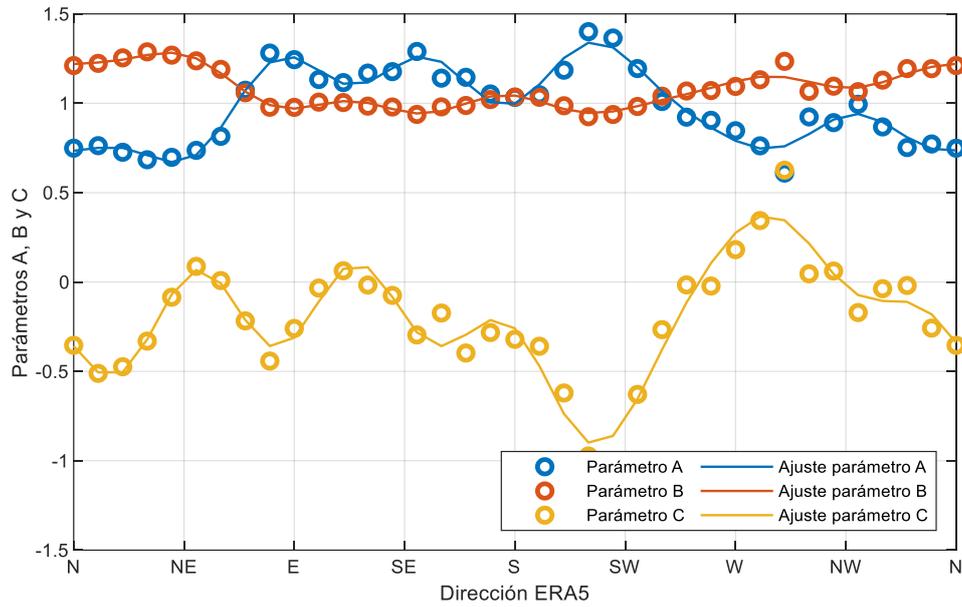


Figura 4-4 – Parámetros de la corrección de la velocidad de viento.

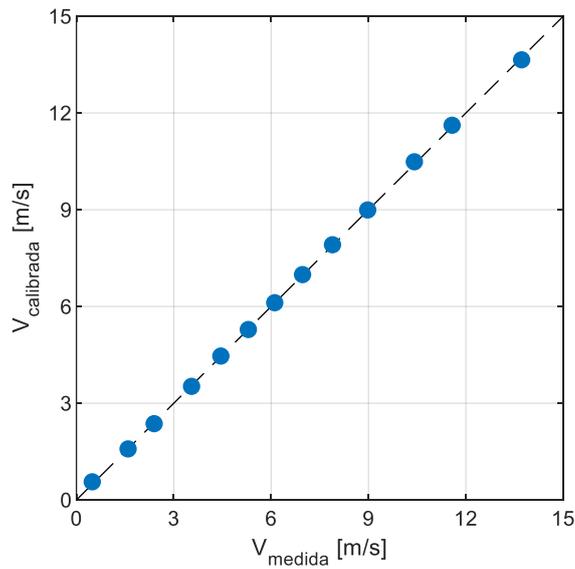


Figura 4-5 – Gráfico de cuantiles de velocidad de viento corregida (datos simultáneos, probabilidades [1%, 5%, 10%, 20%, ..., 90%, 95%, 99%]).

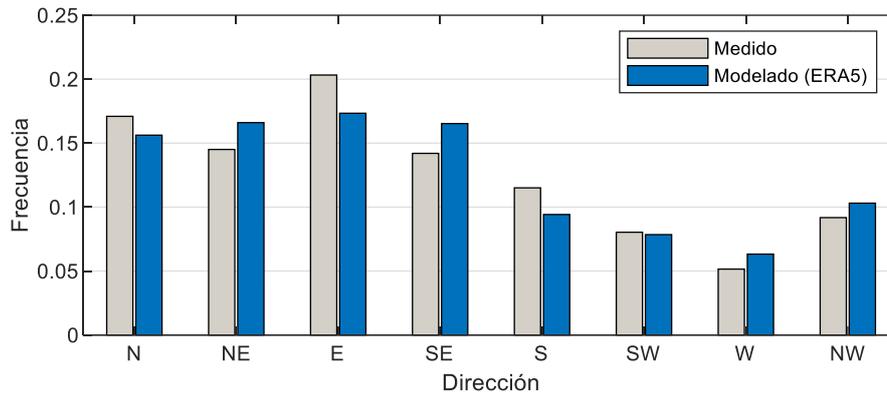


Figura 4-6 – Histogramas de frecuencia de dirección de viento construidos usando únicamente datos simultáneos entre el reanálisis y las series medidas.

4.3.3. NIVEL DE MAR

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

1. Se toma la serie medida en el puerto deportivo de Colonia por DNH/DINAGUA y en el puerto de Colonia 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.
2. En los casos en que hay datos faltantes se rellena el registro con los datos del *hindcast* del IMFIA para el período 1985-2016, o con los datos del *hindcast* GTSM para el período 2017-2018. En ambos casos, previo a su utilización, los *hindcast* se corrigen mediante *quantile matching*. La Figura 4-7 presenta la comparación de cuantiles de la serie de niveles de mar medida con la de los *hindcast*; se observa que los *hindcast* reproducen adecuadamente los niveles de mar medidos.

Como resultado final se tiene una serie horaria de datos de nivel de mar que cubre el período 1985-2018. La Figura 4-8 presenta el porcentaje de datos en cada año según su origen (medido, *hindcast* GTSM o *hindcast* IMFIA).

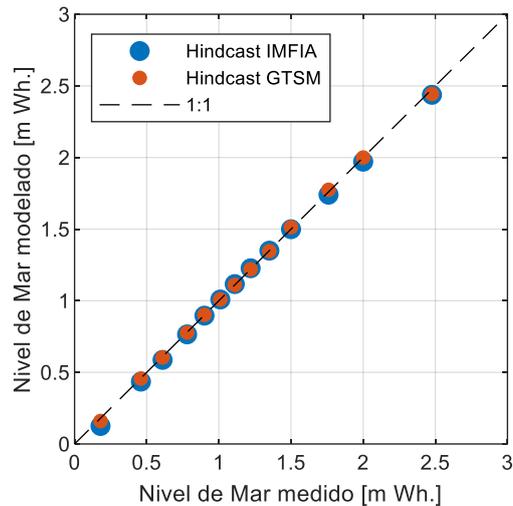


Figura 4-7 – Comparación de cuantiles de los datos de nivel de mar medidos y de los hindcast del IMFIA y GTSM (probabilidades [1%, 5%, 10%, 20%, ..., 90%, 95%, 99%]).

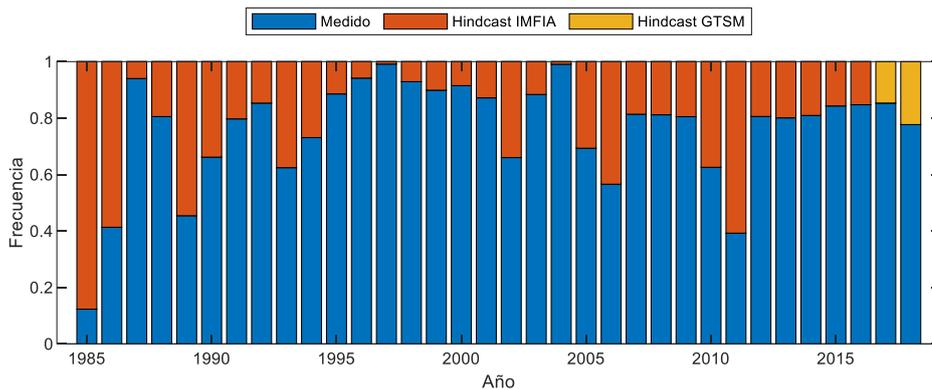


Figura 4-8 – Porcentaje de datos de cada año según su origen.

4.3.4. OLEAJE

4.3.4.1. 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 4-9).

Los resultados del modelo se validan usando datos medidos por el IMFIA en el marco de un proyecto ANII, usando una boya GPS ubicada frente a Colonia del Sacramento (ver Figura 4-10), durante julio y agosto de 2018. La Figura 4-11 presenta la comparación de las series

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

temporales de oleaje medida y modelada; la Figura 4-12 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 son muy buenos tanto para la altura de ola significativa como para el período medio; en las direcciones se observa que los datos medidos tienen mayor frecuencia de ocurrencia en la dirección SE que los datos modelados, y no existen oleajes medidos de componente E y NE, mientras que sí los hay modelados. Este error en la dirección del oleaje puede deberse a que el modelo no está logrando capturar adecuadamente el abrigo que recibe la boya GPS por parte de Colonia del Sacramento o, más probablemente, al efecto de las corrientes de marea de componente SE-NW generadas en el canal en el cual estaba colocado la boya. En cualquier caso, los estados de mar en que se tienen errores importantes en la dirección del oleaje están asociados a alturas de ola significativa menores a 20 cm (i.e. son oleajes poco energéticos; ver Figura 4-13), cuyo efecto resulta poco relevante a efectos prácticos tanto en aspectos portuarios como en aspectos relacionados con la morfología de playas.

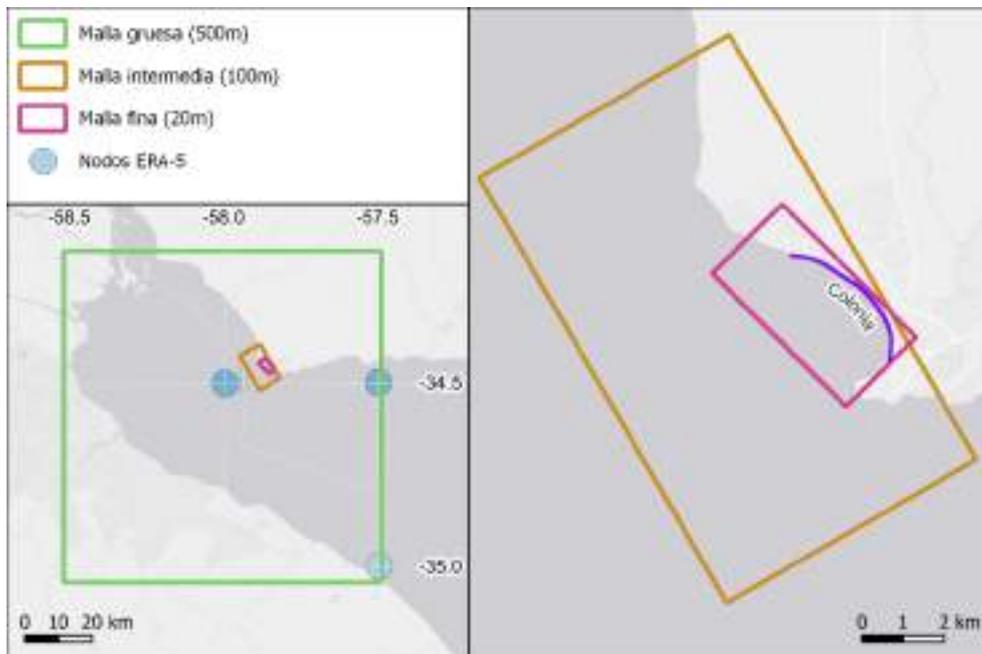


Figura 4-9 – Mallas utilizadas en el modelo SWAN para la propagación del oleaje.

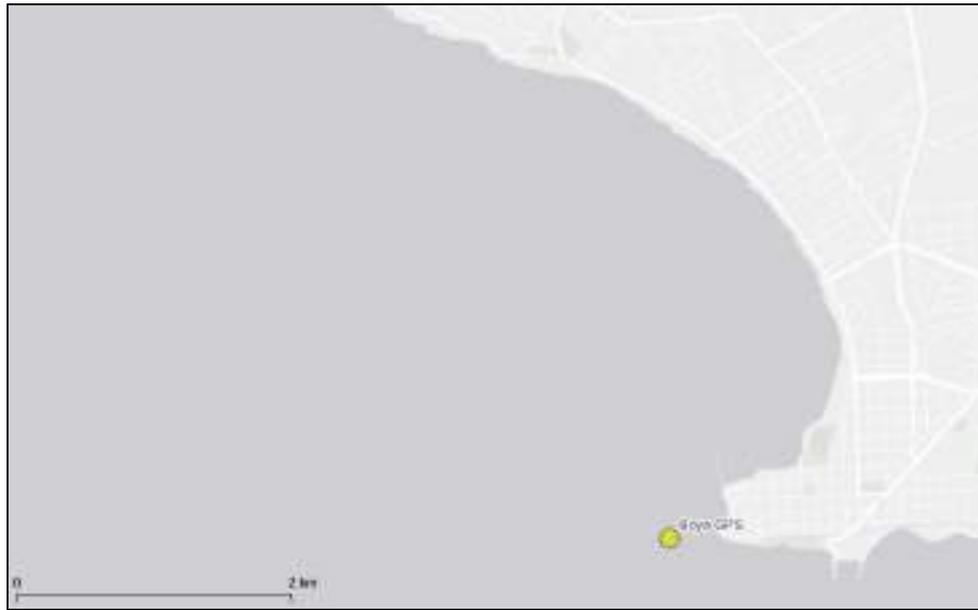


Figura 4-10 – Ubicación de la Boya GPS usada para validar el oleaje en Colonia.

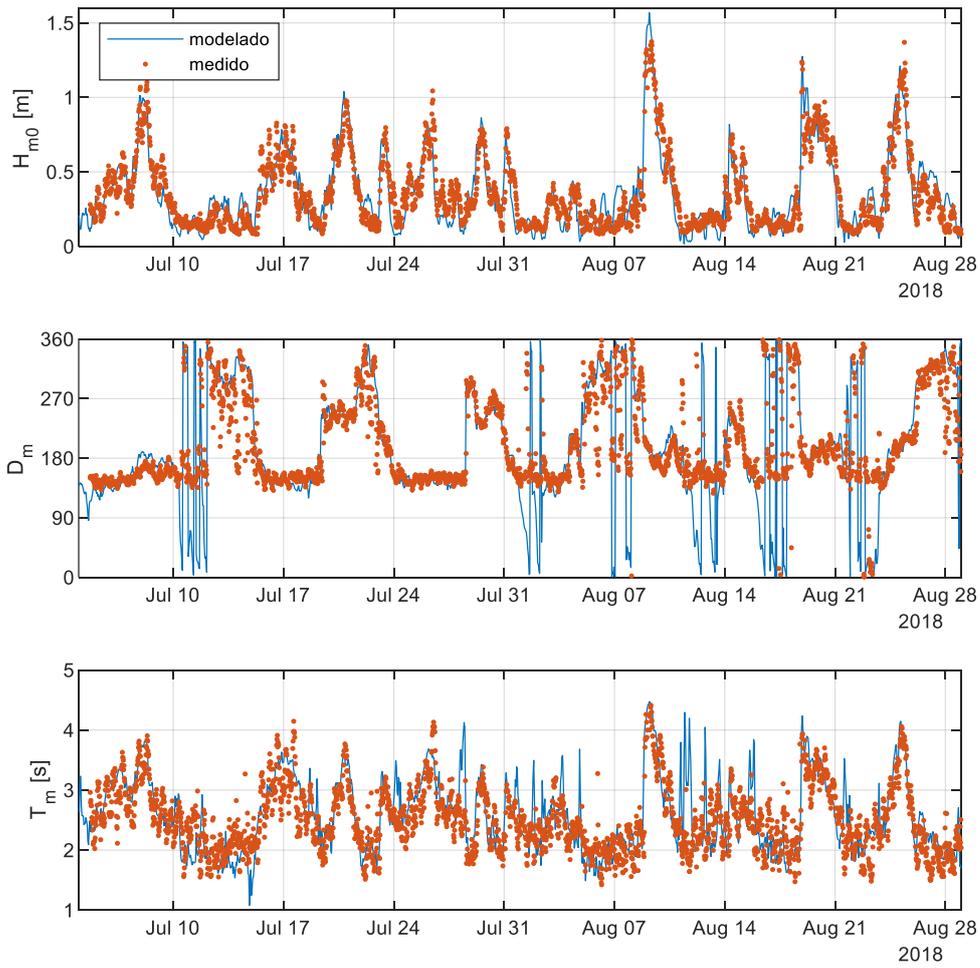


Figura 4-11 – Comparación de series temporales medida y modelada de altura de ola significativa (arriba), dirección media (centro) y período medio (abajo).

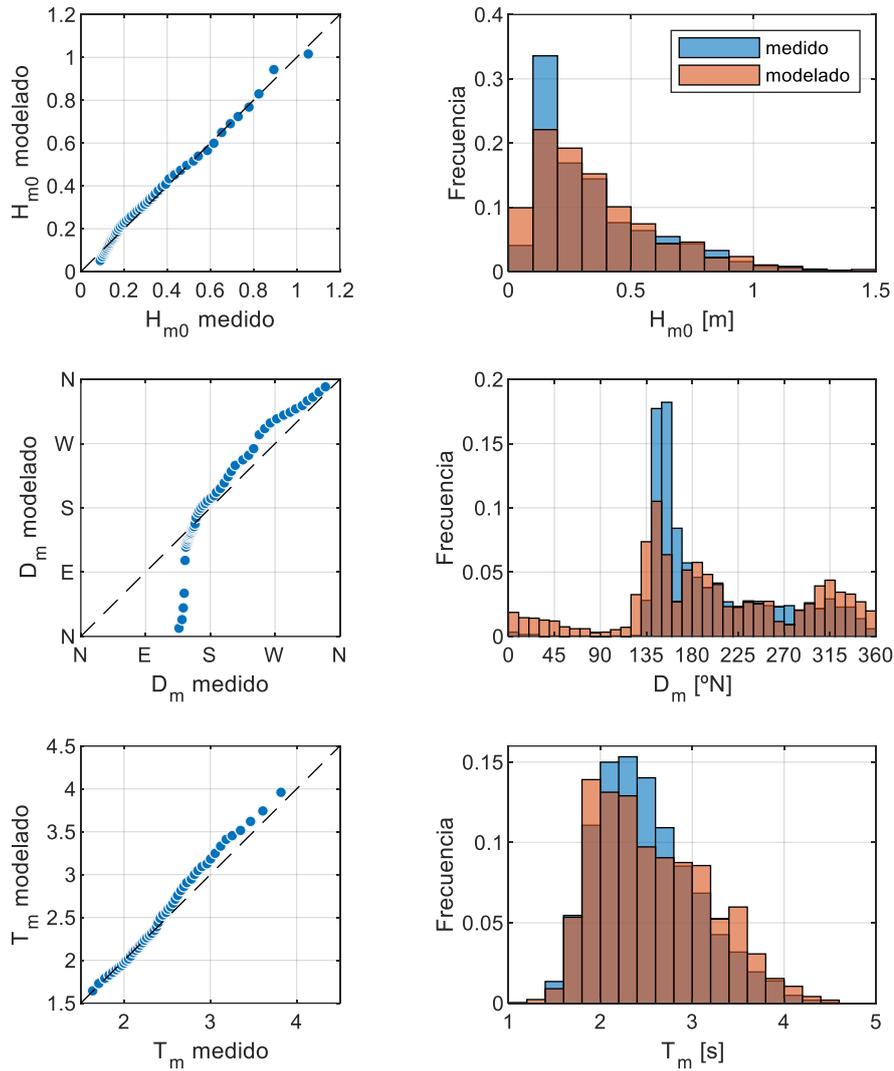


Figura 4-12 – Validación del modelo de propagación y generación de oleaje: gráficos de cuantiles (izq.; probabilidades 2% a 98%, cada 2%) y comparación de distribuciones de probabilidad (der.), para altura de ola significativa (arriba), dirección media (centro) y período medio (abajo).

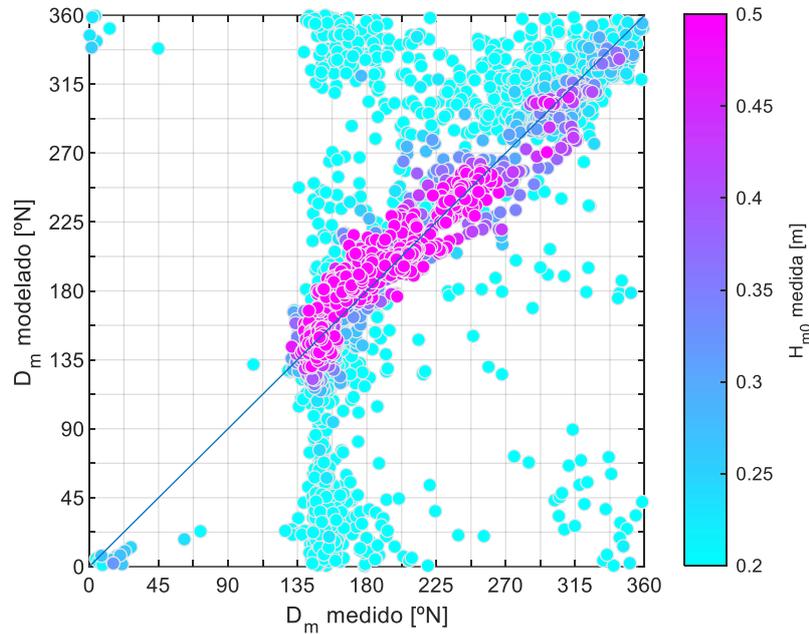


Figura 4-13 – Análisis de los errores en la dirección media en función de la altura de ola significativa.

4.3.5. CARACTERIZACIÓN ESTADÍSTICA DEL CLIMA MARÍTIMO

4.3.5.1. Régimen medio de viento

La Figura 4-14 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 4.3.2) 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	1,0%	0,9%	0,7%	0,5%	0,5%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,4%	0,3%	0,3%	0,4%	0,5%	0,7%	8%
2-4	1,7%	1,6%	1,5%	1,2%	1,2%	1,3%	1,2%	0,9%	0,7%	0,7%	0,6%	0,7%	0,7%	0,9%	1,2%	1,6%	18%
4-6	2,0%	1,9%	2,0%	1,9%	2,0%	2,3%	1,8%	1,1%	1,0%	0,9%	0,9%	0,8%	0,8%	0,9%	1,3%	1,9%	24%
6-8	1,6%	1,9%	1,8%	1,9%	2,0%	2,6%	2,0%	1,1%	1,1%	1,0%	0,9%	0,8%	0,6%	0,6%	1,1%	1,5%	22%
8-10	0,9%	1,1%	1,2%	1,2%	1,5%	2,4%	1,6%	1,0%	0,8%	0,8%	0,7%	0,5%	0,3%	0,3%	0,7%	1,0%	16%
10-12	0,4%	0,5%	0,5%	0,5%	0,6%	1,4%	1,2%	0,7%	0,5%	0,5%	0,5%	0,3%	0,2%	0,1%	0,3%	0,4%	8%
12-14	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,5%	0,4%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	3%
14-16	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	1%
16-18	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%
18-20	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%
20-22						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%
Total	8%	8%	8%	7%	8%	11%	9%	6%	5%	5%	4%	4%	3%	3%	5%	7%	100%

Figura 4-14 – Frecuencia media anual de velocidad y dirección de viento sobre el mar.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

4.3.5.2. Régimen medio y extremo de nivel de mar

La Figura 4-15 presenta la distribución de probabilidad acumulada empírica (régimen medio) del nivel de mar en Colonia. Esta distribución está construida a partir de la serie de datos que combina datos medidos y de los *hindcast* descrita en la sección 4.3.3.

Por otro lado, para estimar el régimen extremo de nivel de mar en puerto se considera que resulta más adecuado usar la serie de máximos anuales de nivel de mar medido por DNH/DINAGUA que la serie horaria reconstruida descrita en la sección 4.3.3. 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 redundaría 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 Gumbel a la serie de máximos anuales medida en Colonia por DNH/DINAGUA, 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 4-16 presenta el régimen de extremos de nivel de mar obtenido.

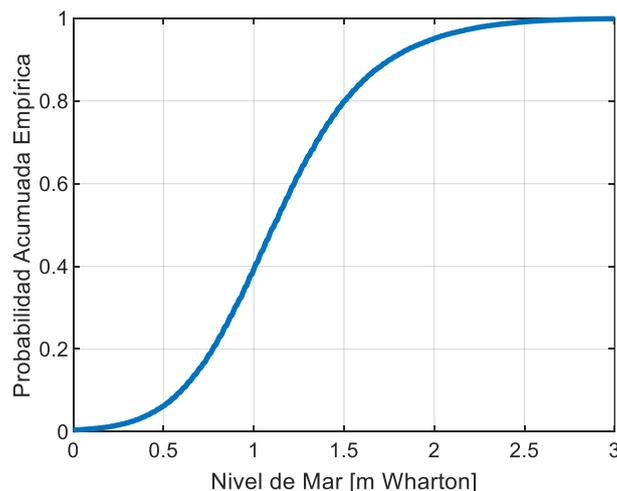


Figura 4-15 – ECDF de la serie de nivel de mar en Colonia construida en la sección 4.3.3.

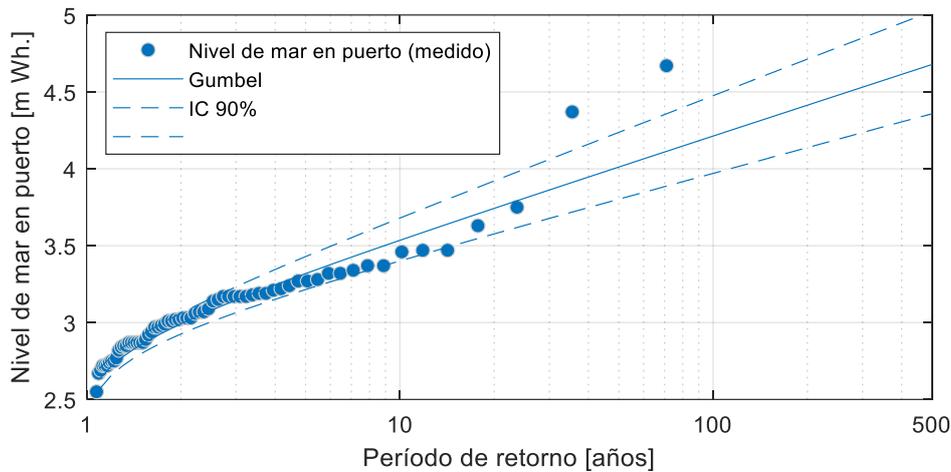


Figura 4-16 – Régimen de extremos del nivel de mar en Colonia, estimado a partir de la serie de máximos anuales medida por DNH/DINAGUA.

4.3.5.3. Régimen medio y extremo de oleaje

Para la etapa de diagnóstico y diseño de alternativas se utilizará el oleaje propagado hasta distintos puntos ubicados a lo largo del arco de playa de Colonia (ver Figura 4-17). A efectos de resumir el régimen medio y extremo de oleaje en la zona, en este informe se presentan únicamente los resultados correspondientes al nodo “Colonia Costa 03”.

A continuación, se presentan el régimen medio anual conjunto de ocurrencia de; altura de ola significativa y dirección media (Figura 4-18), altura de ola significativa y período medio (Figura 4-19), y período medio y dirección media (Figura 4-20). Por último, la Figura 4-21 presenta el régimen de extremos de altura de ola significativa, obtenido mediante el método de picos sobre el umbral (POT); en este caso se ha utilizado el método de Solari et al. (2017)¹ para determinar el umbral más adecuado para el ajuste de las distribuciones de extremos; el método de los momentos L para estimar los parámetros de las distribuciones Exponencial y Generalizada de Pareto (GPD), y la técnica de *bootstrapping* no paramétrica para la estimación de los límites del intervalo de confianza de 95%.

¹ Solari, S., Egüen, M., Polo, M.J., Losada, M.Á., 2017. Peaks Over Threshold (POT): A methodology for automatic threshold estimation using goodness of fit p-value. *Water Resour. Res.* 53, 1–17. <https://doi.org/10.1002/2016WR019538>. Received



Figura 4-17 – Ubicación de nodos de referencia en los que se saca el oleaje frente al arco de playa de Colonia.

Hs-Dm	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0-0.2	0,7%	0,6%	0,6%	0,7%	1,1%	1,9%	4,5%	8,4%	9,1%	7,5%	5,1%	4,9%	7,1%	4,8%	1,8%	0,9%	60%
0.2-0.4	0,2%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,3%	1,5%	5,2%	3,4%	2,8%	2,4%	1,5%	2,2%	3,1%	1,1%	0,3%	24%
0.4-0.6						0,0%	0,0%	1,5%	2,4%	2,4%	1,9%	0,8%	0,4%	0,2%	0,0%	0,0%	10%
0.6-0.8							0,0%	0,1%	0,9%	1,6%	1,3%	0,2%	0,0%	0,0%	0,0%		4%
0.8-1.0								0,0%	0,2%	0,8%	0,5%	0,0%	0,0%				1%
1.0-1.2									0,0%	0,2%	0,1%						0%
1.2-1.4									0,0%	0,1%	0,0%						0%
1.4-1.6									0,0%	0,0%	0,0%						0%
1.6-1.8										0,0%							0%
Total	1%	1%	1%	1%	1%	2%	6%	15%	16%	15%	11%	8%	10%	8%	3%	1%	100%

Figura 4-18 – Frecuencia media anual conjunta de altura de ola significativa y dirección media en el nodo Colonia Costa 03.

Hs-Tm	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
0-0.2	0,7%	20,8%	25,4%	7,6%	3,4%	1,4%	0,4%	0,0%	60%
0.2-0.4	0,4%	15,0%	8,9%	0,0%					24%
0.4-0.6	0,0%	2,8%	6,4%	0,6%					10%
0.6-0.8		0,0%	3,1%	1,1%					4%
0.8-1.0			0,3%	1,2%	0,0%				1%
1.0-1.2				0,3%	0,0%				0%
1.2-1.4				0,0%	0,0%				0%
1.4-1.6				0,0%	0,0%				0%
1.6-1.8				0,0%	0,0%				0%
Total	1%	39%	44%	11%	3%	1%	0%	0%	100%

Figura 4-19 – Frecuencia media anual conjunta de altura de ola significativa y período medio en el nodo Colonia Costa 03.

Tm-Dm	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
1	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,2%	0,3%	0,4%	0,1%	0,1%	0,0%	1%
2	0,7%	0,6%	0,6%	0,7%	0,8%	1,0%	1,4%	2,4%	2,1%	3,7%	4,9%	3,5%	5,9%	6,7%	2,5%	1,1%	39%
3	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,4%	1,3%	4,5%	11,8%	8,7%	6,2%	3,4%	2,4%	3,4%	1,2%	0,3%	0,1%	44%
4						0,0%	0,0%	1,1%	3,5%	3,1%	1,8%	1,3%	0,1%				11%
5								0,0%	1,1%	1,4%	0,9%	0,1%					3%
6									0,4%	0,8%	0,2%						1%
7									0,1%	0,3%	0,0%						0%
8									0,0%	0,0%							0%
Total	1%	1%	1%	1%	1%	2%	6%	15%	16%	15%	11%	8%	10%	8%	3%	1%	100%

Figura 4-20 – Frecuencia media anual conjunta de período y dirección medias en el nodo Colonia Costa 03.

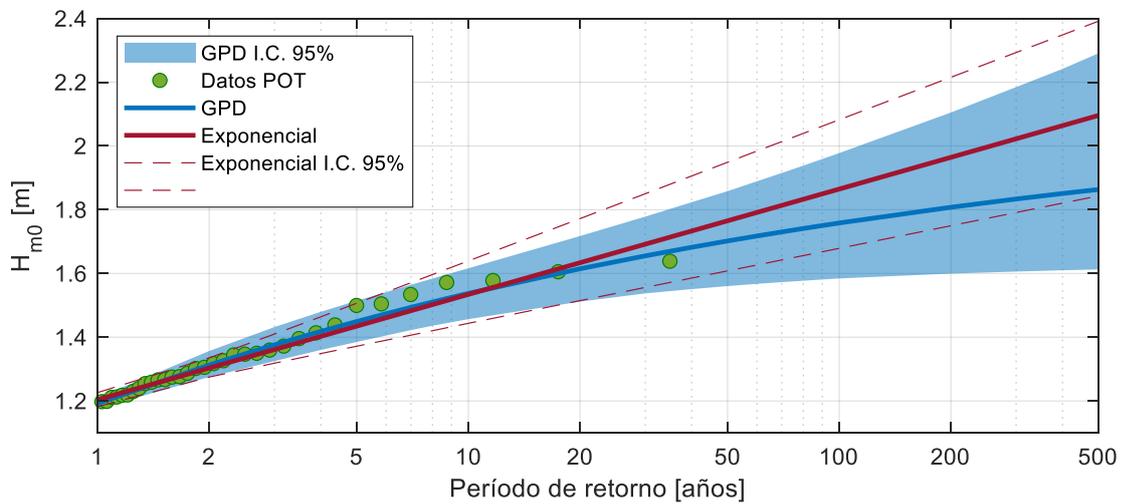


Figura 4-21 – Régimen de extremos de altura de ola significativa en el nodo Colonia Costa 03.

4.3.5.4. Régimen medio conjunto de altura de ola significativa y nivel de mar

La Figura 4-22 presenta el régimen medio anual conjunto de altura de ola significativa en el punto “Colonia Costa 03” y el nivel de mar en puerto (referido al cero Wharton).

Hs-SL	< 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	>3.5	Total
0-0.2	0,2%	4,0%	23,7%	25,3%	5,7%	0,8%	0,1%	0,0%		60%
0.2-0.4	0,1%	1,4%	6,9%	10,3%	4,7%	1,0%	0,1%	0,0%		24%
0.4-0.6	0,1%	0,3%	1,5%	3,4%	3,1%	1,1%	0,2%	0,0%		10%
0.6-0.8	0,0%	0,1%	0,6%	1,2%	1,4%	0,8%	0,2%	0,0%	0,0%	4%
0.8-1.0		0,0%	0,1%	0,4%	0,5%	0,3%	0,1%	0,0%	0,0%	1%
1.0-1.2			0,0%	0,1%	0,1%	0,1%	0,1%	0,0%	0,0%	0%
1.2-1.4					0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%
1.4-1.6						0,0%	0,0%	0,0%	0,0%	0%
1.6-1.8							0,0%	0,0%		0%
Total	0%	6%	33%	41%	15%	4%	1%	0%	0%	100%

Figura 4-22 – Frecuencia media anual conjunta de altura de ola significativa y nivel de mar (referido al 0 Wharton).

4.3.5.5. 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. Es previsible que la diferencia entre el nivel de mar en playa y el nivel de mar en puerto sea mayor en los puntos en que se tiene mayor exposición al 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)² para estimar la serie temporal de *set-up* en playa a partir de la serie de oleaje:
2. $s = \beta_f (H_0 L_0)^{1/2}$
3. 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* son las series de oleaje en los puntos indicados en la Figura 4-17. La pendiente de playa típica de la zona se obtiene de los relevamientos locales suministrados por la contraparte, utilizándose un valor uniforme igual a 6% para todo el arco de playa.
4. Se suma la serie horaria de nivel de mar en puerto descrita en la sección 4.3.3 a la serie de *set-up* calculada previamente, obteniéndose una serie horaria de nivel de mar total en playa.

² 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>

5. 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 ambos regímenes extremos para distintos períodos de retorno, así como el incremento en la amplitud de los intervalos de confianza.
6. 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 DNH/DINAGUA (Figura 4-16 en sección 4.3.5.2), 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 4-23 presenta los regímenes de nivel de mar total en playa estimados para los puntos “Colonia Costa 01” y “Colonia Costa 05”, ubicados en los extremos Norte y Sur del arco de playa de Colonia, respectivamente. Se observa que en la zona más expuesta al oleaje (extremo norte) el set-up aporta unos 20 cm a los valores extremos de nivel de mar en playa respecto a los de nivel de mar en puerto, mientras que en la zona menos expuesta la diferencia entre el régimen de extremos de nivel de mar en playa y en puerto es despreciable a efectos prácticos.

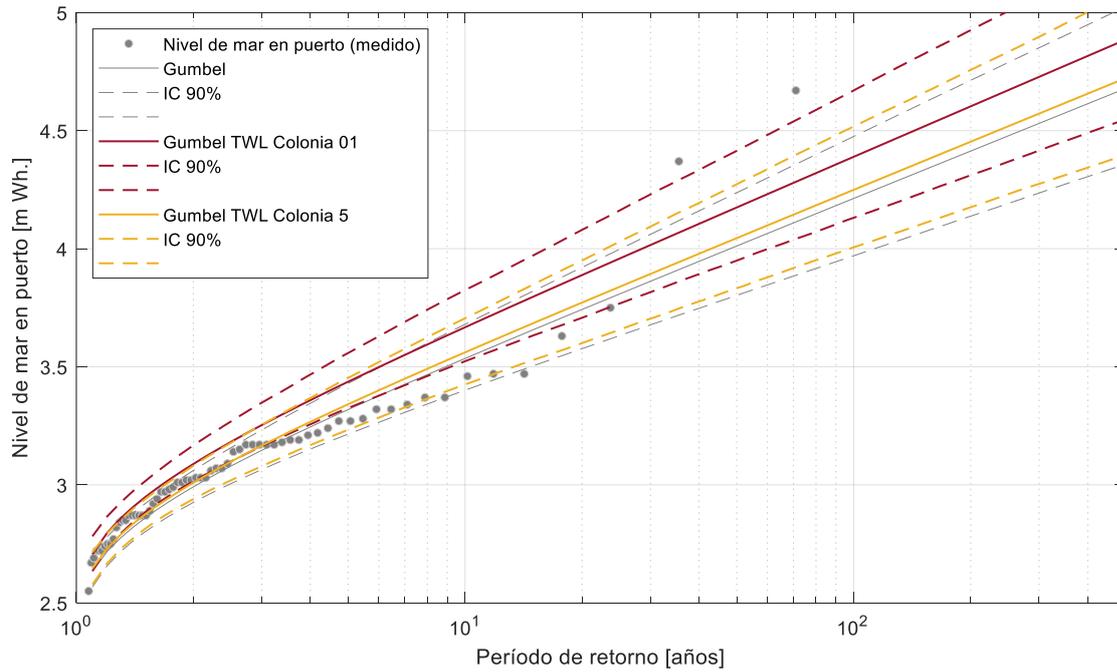


Figura 4-23 – Régimen de extremos del nivel de mar total en playa (TWL) correspondiente a los puntos “Colonia Costa 01” (en rojo) y “Colonia Costa 05” (en amarillo), junto con el régimen de extremos del nivel de mar en puerto (en gris).

4.4. EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE LA LÍNEA DE COSTA

4.4.1. DATOS UTILIZADOS

Para el análisis de la evolución histórica de la línea de costa se utiliza información satelital obtenida mediante la herramienta CoastSat³. Definida una región de interés, esta herramienta descargar las imágenes satelitales de las colecciones Sentinel 2 y Landsat 5, 7, 8 y 9 desde Google Earth Engine, aumentar 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 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 100 m, totalizando 34 perfiles a lo largo de la zona de estudio (ver Figura 4-24).

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.

³ 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>

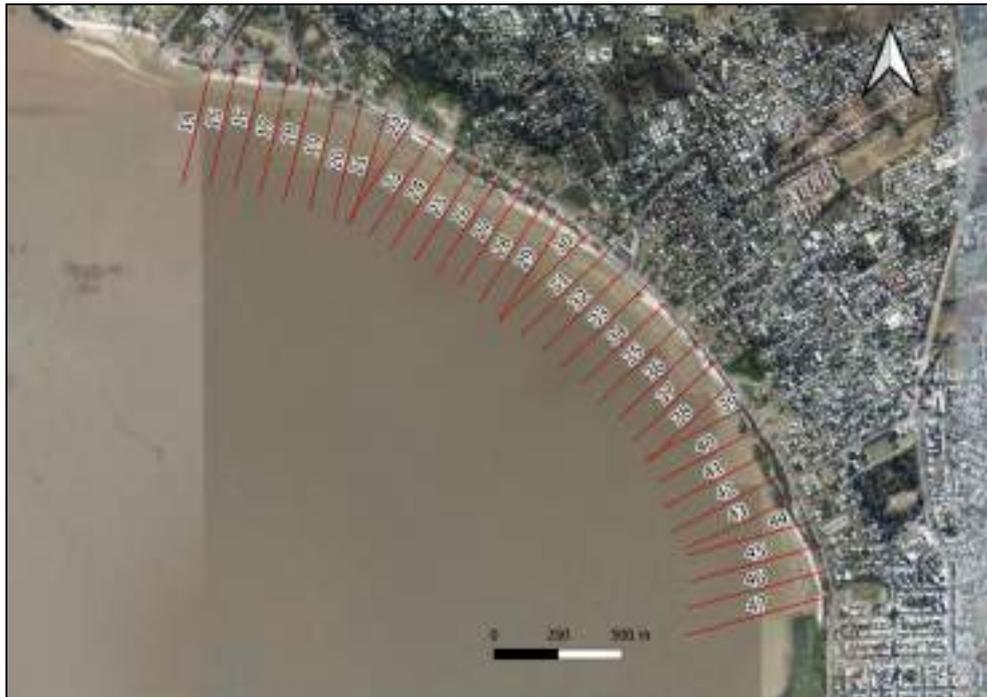


Figura 4-24 – Localización de los perfiles utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa a partir de imágenes satelitales.

4.4.2. TENDENCIAS

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

1. Se determinó la mediana de la progresiva de la línea de costa en cada uno de los perfiles usando los datos de los períodos 1985-1994 (período inicial) y 2013-2022 (período final). Estas dos posiciones medianas de la línea de costa están separadas entre sí 28 años.
2. Para cada perfil se calculó la tasa de cambio de la posición de la línea de costa en m/año, como la diferencia entre la mediana de 2013-2022 y la mediana de 1985-1994, dividido los 28 años de diferencia entre ambas. Las tasas de cambio positivas (negativas) corresponden a acreción (erosión).
3. La tasa de erosión (acreción) también se cuantificó en términos de volumen de material perdido (ganado) por año en cada perfil ($m^3/año$), multiplicando la tasa de cambio de la posición de la línea de costa por 100 m (distancia entre perfiles) y por la altura activa del perfil, calculada como la suma de la diferencia de cota entre la berna de la playa (estimada a partir de los relevamientos de playa suministrados por la

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

Intendencia de Colonia y del MDT del servicio de Infraestructura de Datos Espaciales) y la profundidad de cierre. Esta última se calcula para cada perfil utilizando la formulación de Nicholls et al (1996)⁴, 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; para el cálculo de la profundidad de cierre se utiliza en cada perfil la serie de oleaje del nodo costero más próximo (ver Figura 4-17). Para ubicar en planta la curva correspondiente a la profundidad de cierre se utiliza la batimetría local suministrada por la Intendencia de Colonia.

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 mediana 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.

La mediana de la posición de la línea de costa se realiza considerando períodos de 10 años para: (a) minimizar la influencia de la variabilidad interanual y los ciclos climáticos de varios años (e.g. períodos de Niño/Niña) en el cálculo de las tendencias; y (b) para tener suficientes datos de posición de línea de costa en el período inicial (1985-1994), en el cual la frecuencia de muestreo satelital era sensiblemente menor a la actual.

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 4-25 muestra la curva de profundidad de cierre (en negro) y el cambio en la mediana de posición de la línea de costa entre los períodos 1985-1994 y 2013-2022 para cada perfil en la playa de Colonia. La zona más afectada retrocedió entre 30 m y 50 m. A su vez, se

⁴ Nicholls, R.J., W.A. Birkemeier, and R.J. Hallermeier, "Application of the Depth of Closure Concept," Proc. 25th Intl. Conf. Coastal Eng., ASCE, Orlando, 3874–3887, 1996.

aprecian rotaciones locales de la playa en sentido antihorario. La Figura 4-26 muestra las tasas de erosión o acreción para cada perfil, tanto en m/año como en m³/años; considerando la zona de estudio en su conjunto, se tiene que existe un déficit de sedimentos de aproximadamente 2.000 m³/año. En la Figura 4-27 se presenta la mediana de la línea de costa para ambos períodos y se señalan en rojo (verde) las áreas erosionadas (de acumulación); en el período analizado se han perdido aproximadamente 2 has de playa.

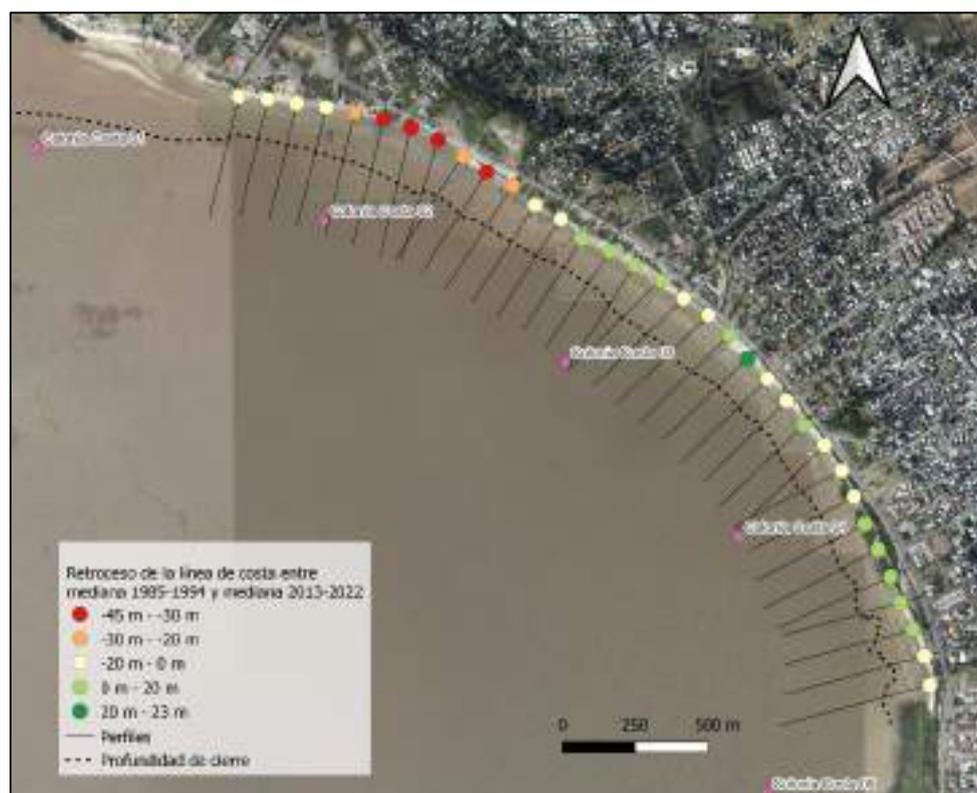


Figura 4-25 - Cambio en la posición de la línea de costa entre mediana 1985-1994 y mediana 2013-2022

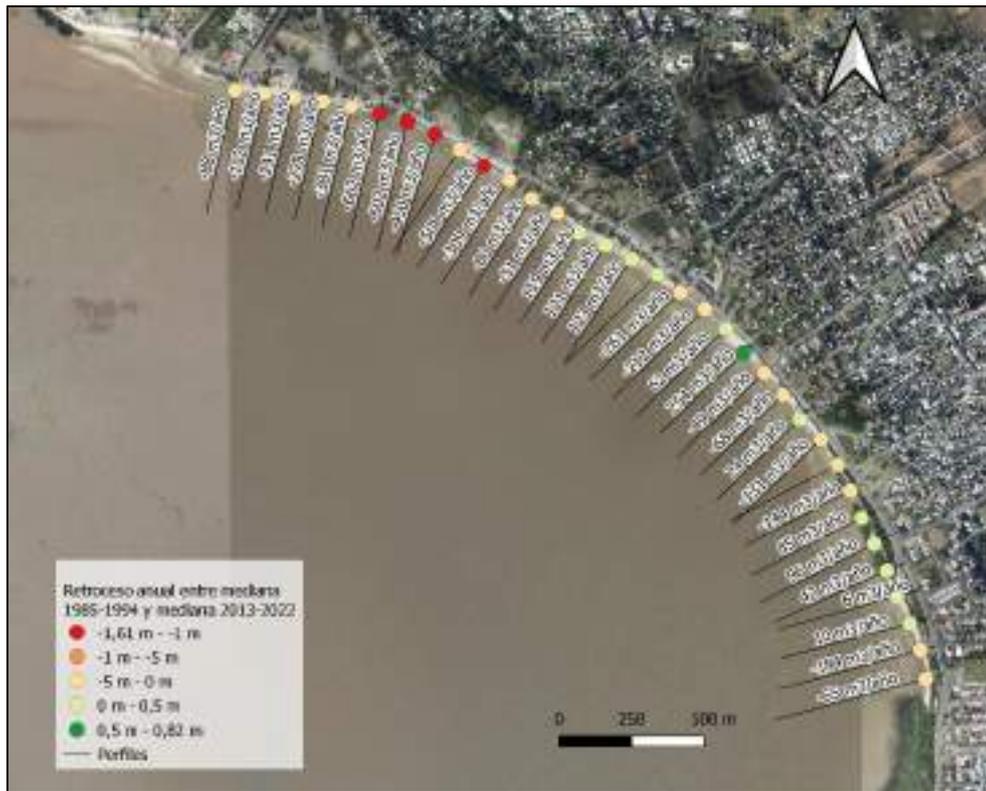


Figura 4-26 – Tasas anuales de erosión/acreción en cada perfil, expresadas en términos de cambio en la posición de la línea de costa (m/año) y cambio de volumen (m³/año). Valores negativos (positivos) corresponden a erosión (acreción).

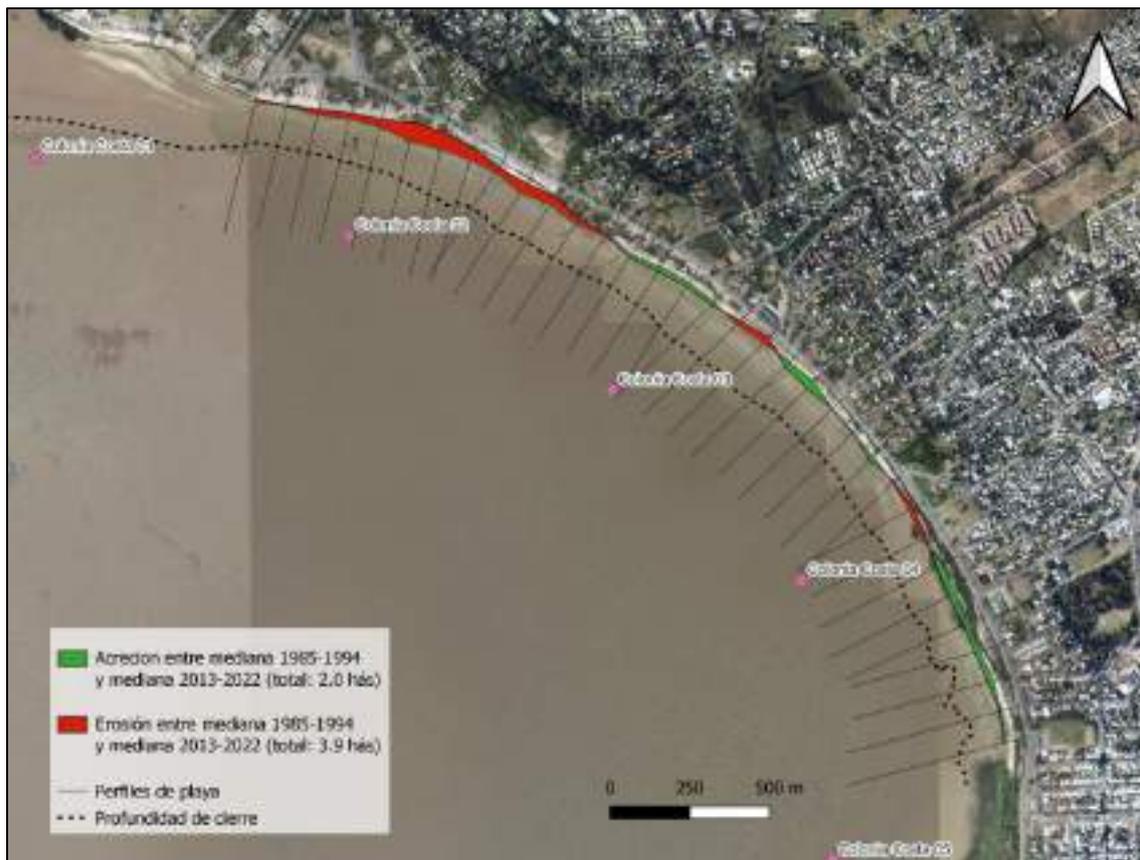


Figura 4-27 - Zonas de erosión (rojo) y acreción (verde) entre 1990 y la actualidad.

4.4.3. VARIABILIDAD A CORTO PLAZO

La variabilidad a corto plazo del perfil de playa incluye el avances y retrocesos del perfil por efecto de tormentas y períodos de calma, el ciclo anual de erosión y acreción de playa y la variabilidad interanual producto de la existencia de años más severos y menos severos, entre otros, pero deja por fuera la tendencia a largo plazo de erosión o acreción caracterizada en el apartado anterior.

Esta variabilidad se caracteriza calculando la desviación estándar de la posición de una curva de nivel fija (en este caso la curva correspondiente al nivel medio del mar), por lo tanto, resulta necesario tener en cuenta el nivel de mar al instante de la toma de las imágenes satelitales.

Para el cálculo de la desviación estándar se procede de la siguiente forma:

1. Se utiliza únicamente la información satelital obtenida desde 2013 en adelante, dado que en este período se dispone de un volumen de información significativamente mayor al disponible en el período previo a 2013, producto de la incorporación de las imágenes de los satélites Landsat 8, Sentinel 2 y, más recientemente, Landsat 9.
2. Para el análisis se seleccionan únicamente algunos perfiles en los que se ha observado que no existe tendencia en la posición de la línea de costa en el período 2013 – actualidad.
3. Se determina el nivel de mar medido en puerto al momento de la toma de las imágenes satelitales. Se descartan todas las imágenes para las que no se dispone de medición de nivel de mar.
4. Utilizando una ventana móvil de 60 cm, se determina la mediana de la progresiva de la línea de costa para cada valor del nivel de mar, tomando el nivel de mar cada 10 cm (esto resulta en una estimación del perfil de playa a partir de las imágenes satelitales; ver Figura 4-28).
5. A cada dato de progresiva de la línea de costa se le resta el valor de la mediana correspondiente al nivel de mar registrado al momento de la captura de la imagen, obteniéndose así una serie de datos de progresiva con media cero, asimilables a la posición del perfil de playa respecto a su posición media (este proceso es equivalente a trasladar la línea de costa instantánea hasta la curva de corte del perfil con el nivel medio de mar, usando siempre la misma forma del perfil de playa). Los datos resultantes de esta transformación se muestran en la Figura 4-29.
6. Por último, asumiendo una distribución normal para la posición del perfil de playa, su desviación estándar de dicha posición se calcula como el rango inter-cuartiles dividido entre 1,349, lo que reduce la sensibilidad de la estimación a la presencia de valores atípicamente altos o bajos.
7. Asumiendo independencia entre los datos obtenidos, se estima el retroceso esperable para períodos de retorno de 10 años y 100 años.

Cabe señalar que para la corrección de la línea de costa por efecto del nivel se podía haber usado el perfil de playa medido, proporcionado por la Intendencia de Colonia. Sin embargo, dicho perfil es instantáneo y, por tanto, se prefirió utilizar el método descrito previamente, el cual permite hacer una estimación del perfil de playa medio a partir de las imágenes satelitales.

Este procedimiento de análisis se aplicó a los perfiles 15 y 28, ambos considerados estables en el período reciente (ver Figura 4-30 y Figura 4-31). Los resultados obtenidos en ambos casos fueron similares, por lo que se toman los siguientes resultados como representativos de toda la playa:

- Retroceso del perfil de 10 años de período de retorno: 25 m.
- Retroceso del perfil de 100 años de período de retorno: 31 m.

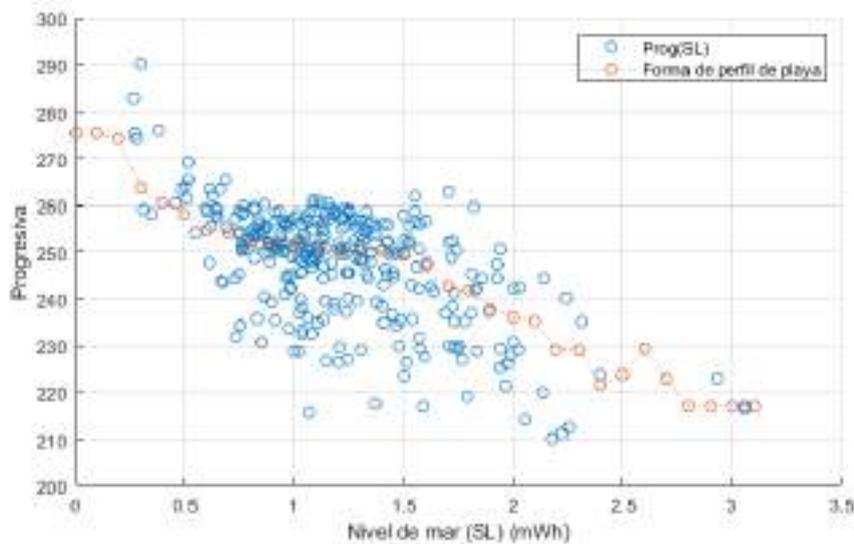


Figura 4-28 – Progresiva de la línea de costa y nivel de mar concomitante (puntos azules). Mediana de la progresiva para cada nivel de mar (puntos naranja).

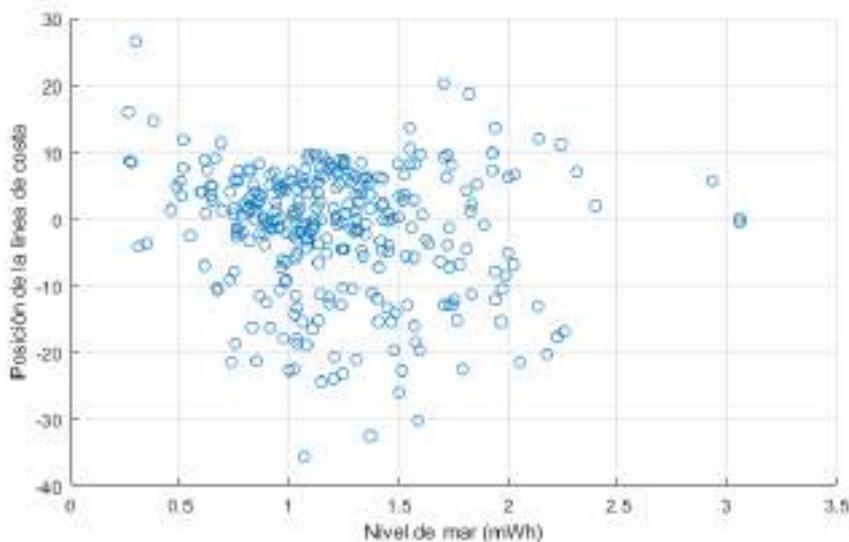


Figura 4-29 – Avance/retroceso del perfil de playa y nivel de mar concomitante.

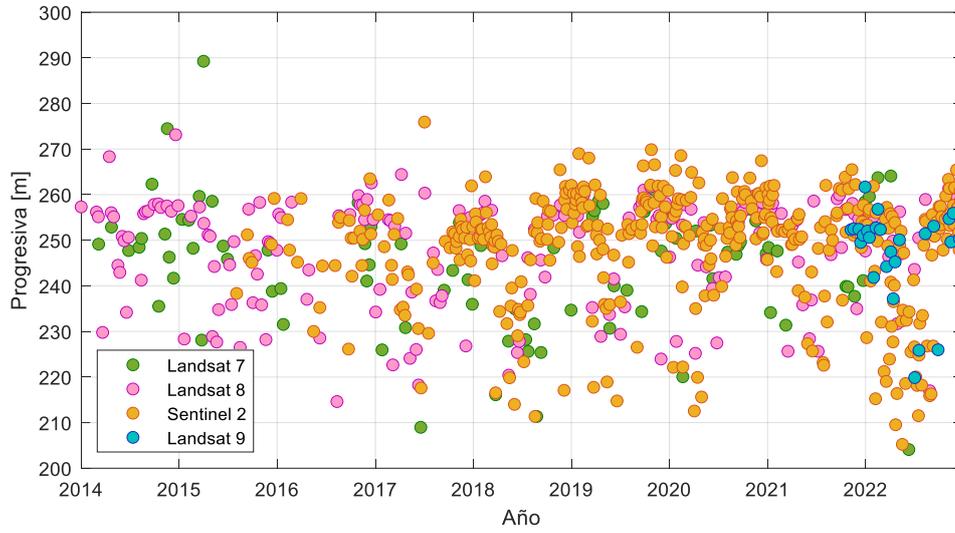


Figura 4-30 – Evolución de la progresiva de la línea de costa en el perfil 15 para el período 2013-2022.

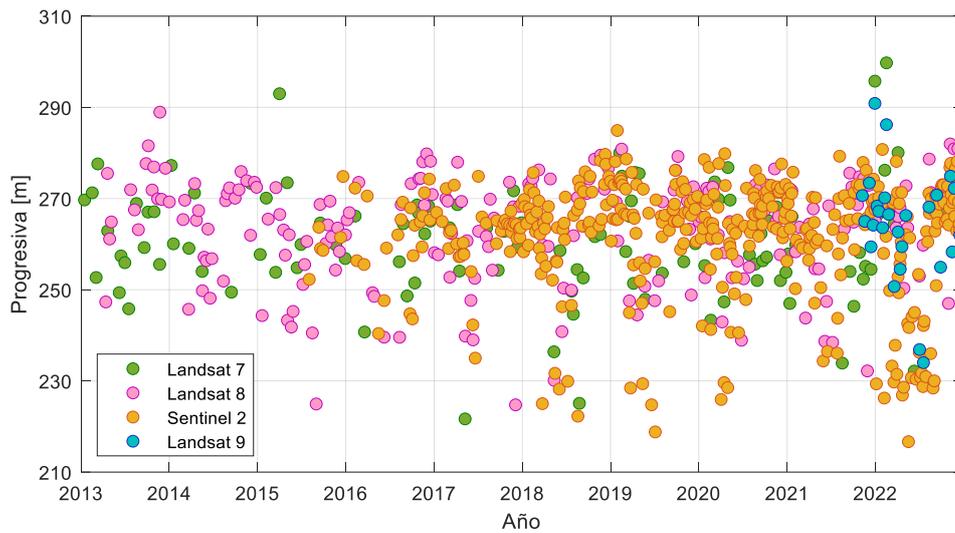


Figura 4-31 – Evolución de la progresiva de la línea de costa en el perfil 28 para el período 2013-2022.

4.5. TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

En este tramo de costa el transporte de sedimentos en playa está controlado mayoritariamente por efecto del oleaje, siendo los transportes de origen fluvial y eólico de segundo orden en la morfodinámica de las playas (ver e.g. Teixeira et al. 2012⁵, Solari et al. 2018⁶). Se procede por tanto a estimar únicamente el transporte potencial litoral de arena generado por el oleaje.

Se calcula el transporte litoral potencial en cada uno de los perfiles de playa ya utilizados para el análisis de la evolución de la línea de costa (ver Figura 4-24), 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)⁷:

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

En donde α_{bs} es el ángulo en la rompiente relativo a la costa (ver Figura 4-32), 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 en cada perfil se propaga el oleaje desde el nodo costero más próximo (ver Figura 4-17) 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.

La Figura 4-33 muestra el transporte litoral potencial neto anual en los diferentes perfiles en la playa de Colonia. Se observa una distribución espacial de los resultados similar a la obtenida del análisis de tendencia de la línea de costa, con mayores tasas de transporte

⁵ Teixeira, L., Piedra-Cueva, I., Solari, S., 2012. The influence of fluvial and maritime processes in shaping the eastern coast of the upper Rio de la Plata estuary, in: River Flow 2012 - Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics.

⁶ Solari, S., Alonso, R., Teixeira, L., 2018. Analysis of Coastal Vulnerability along the Uruguayan coasts. J. Coast. Res. 85, 1536–1540. <https://doi.org/10.2112/SI85-308.1>

⁷ 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>

potencial en la zona donde hoy en día hay enrocado fijando la posición de la línea de costa (correspondiente a los tramos de costa en los que la orientación de la línea de costa se aparta más de la dirección media del flujo de energía del oleaje). Los resultados muestran un transporte neto anual promedio en la zona es aproximadamente 3.000 m³/año.

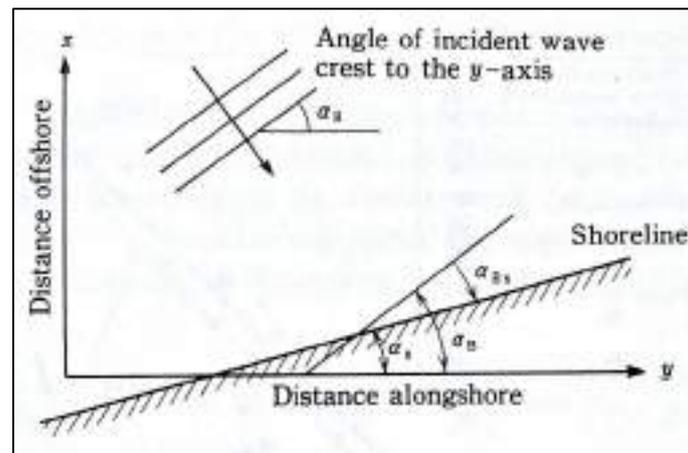


Figura 4-32 – Convención de ángulos (tomado de figura 3.2 de Horikawa 1988 Part IV⁸).

⁸ Horikawa, Kiyoshi, ed. 1988. Nearshore Dynamics and Coastal Processes. Theory, Measurement, and Predictive Models. University of Tokyo Press.



Figura 4-33 – Transporte litoral neto estimado para cada uno de los perfiles de playa.

4.6. RESUMEN DE SITUACIÓN ACTUAL (LÍNEA BASE)

El arco de playa de Colonia del Sacramento presenta un transporte litoral neto hacia el noroeste (ver sección 4.5), el cual se evidencia en la acumulación de arena que se observa al sureste de la mayoría de los espigones. En ningún caso los espigones existentes alcanzan la profundidad de cierre (ver Figura 4-35), por lo que es esperable que no estén logrando cortar el transporte litoral en la zona.

Del análisis de las imágenes satelitales se desprende que se han perdido aproximadamente 2 has de playa en 28 años, lo que teniendo en cuenta la altura del perfil de playa activo, implica una pérdida de aproximadamente 2.000 m³ de arena por año (ver sección 4.4.2). Este valor es coherente con el transporte litoral neto estimado para los perfiles del tramo norte del arco de playa (ver Figura 4-33).

El análisis de variabilidad de posición del perfil de playa (sección 4.4.3) muestra que se necesitan aproximadamente 25 m (31 m) de playa para atender los eventos de erosión de período de retorno 10 años (100 años). Al analizar la disponibilidad de espacio actual se ve que existen varios tramos de costa en los cuales no hay playa suficiente para soportar estos eventos. En general los tramos de costa en los que no hay espacio suficiente para acomodar la variabilidad del perfil de playa coincide con los lugares en que se ha construido revestimiento de enrocado (ver Figura 4-36 y Figura 4-37) o hay alguna problemática de erosión de barrancas (ver Figura 4-38).



Figura 4-34 – Extracto de ortofoto del arco de playa de Colonia del Sacramento proporcionada por la Intendencia de Colonia.



Figura 4-35 – Profundidad de cierre calculada para cada nodo de oleaje (puntos violetas), curva estimada de posición en planta de la profundidad de cierre (línea cortada) y ubicación y profundidad de los morros de los espigones (puntos rojos).



Figura 4-36 – Tramo de costa correspondiente a la playa del Real de San Carlos. Línea de costa actual según ortofoto proporcionada por la Intendencia de Colonia (celeste); franja de 25 m correspondiente a evento de erosión de 10 años de período de retorno (naranja); franja de 31 m correspondiente a evento de erosión de 10 años de período de retorno (amarillo).



Figura 4-37 – Tramo de costa entre las calles Francisco Acuña de Figueroa y Arq. Julio Vilamajó. Línea de costa actual según ortofoto proporcionada por la Intendencia de Colonia (celeste); franja de 25 m correspondiente a evento de erosión de 10 años de período de retorno (naranja); franja de 31 m correspondiente a evento de erosión de 10 años de período de retorno (amarillo).



Figura 4-38 – Tramo de costa entre las calles González Moreno y Zorrilla de San Martín. Línea de costa actual según ortofoto proporcionada por la Intendencia de Colonia (celeste); franja de 25 m correspondiente a evento de erosión de 10 años de período de retorno (naranja); franja de 31 m correspondiente a evento de erosión de 10 años de período de retorno (amarillo).

4.7. PROYECCIÓN DE EVOLUCIÓN DE LA LÍNEA DE COSTA

De los estudios realizados por IH-Cantabria para la costa de Uruguay⁹, así como de Jackson et al. (2022)¹⁰ 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. Por lo tanto, para la proyección de la evolución de la línea de costa a mediano y largo plazo se considerarán los siguientes forzantes:

1. Déficit en el balance de sedimento identificado en la sección anterior. Dado que este déficit se origina en el transporte litoral generado por el oleaje, se asumirá que no cambia por efecto del cambio climático.
2. Retroceso de la línea 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 4-39 superpone la evolución reciente del nivel medio del mar medido en Colonia (datos de DNH/DINAGUA) 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 AR6¹¹.

⁹ 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

¹⁰ 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>

¹¹ Ver herramienta en línea: <https://sealevel.nasa.gov/ipcc-ar6-sea-level-projection-tool>

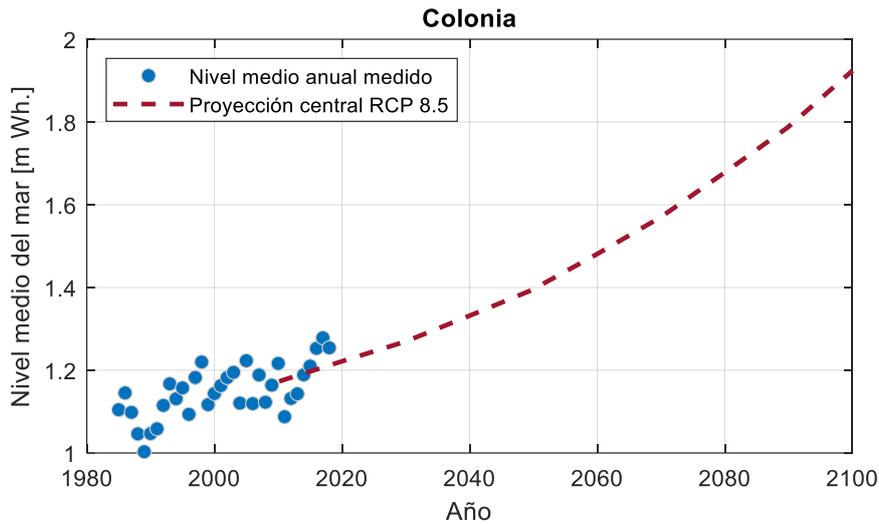


Figura 4-39 – Superposición de los datos de nivel medio anual medido en Colonia por DNH/DINAGUA y proyección del aumento del nivel medio del mar para el escenario RCP8.5 informada por IH-Cantabria para la costa de Uruguay.

4.7.1. PROYECCIÓN DEL RETROCESO POR DÉFICIT EN EL BALANCE DE SEDIMENTOS

Se utilizó el déficit de sedimentos actual (2.000 m³/año; ver sección 4.6) actual como base para determinar el retroceso de la línea de costa en cada perfil. Para proyectar el retroceso generado por este déficit a futuro se procedió de la siguiente forma, calculando el retroceso año a año:

1. Considerando únicamente los perfiles para los que se ha registrado retroceso, se estima cuál es el ancho disponible para el retroceso de la línea de costa como la distancia entre la línea de costa al inicio del año y la posición del revestimiento de roca o la rambla.
2. La pérdida de sedimentos anual se distribuye entre los perfiles con retroceso y con espacio para retroceder ponderando por la tasa de retroceso histórica.
3. Se actualiza la línea de costa teniendo en cuenta el déficit anual, y se vuelve a iniciar el cálculo en el paso 1.

Los pasos 1 a 3 se repiten durante 25 o 50 años, según se esté trabajando al horizonte temporal 2050 o 2075.

Las figuras siguientes muestran los resultados de retroceso de línea de costa en Colonia por efecto del déficit de sedimentos para 25 años (horizonte 2050; Figura 4-40) y 50 años (horizonte 2075; Figura 4-41). Se observa que los perfiles 16 a 19 muestran un retroceso mayor, con un máximo en el perfil 18 de 23 m para 2050 y 48 m para 2075.

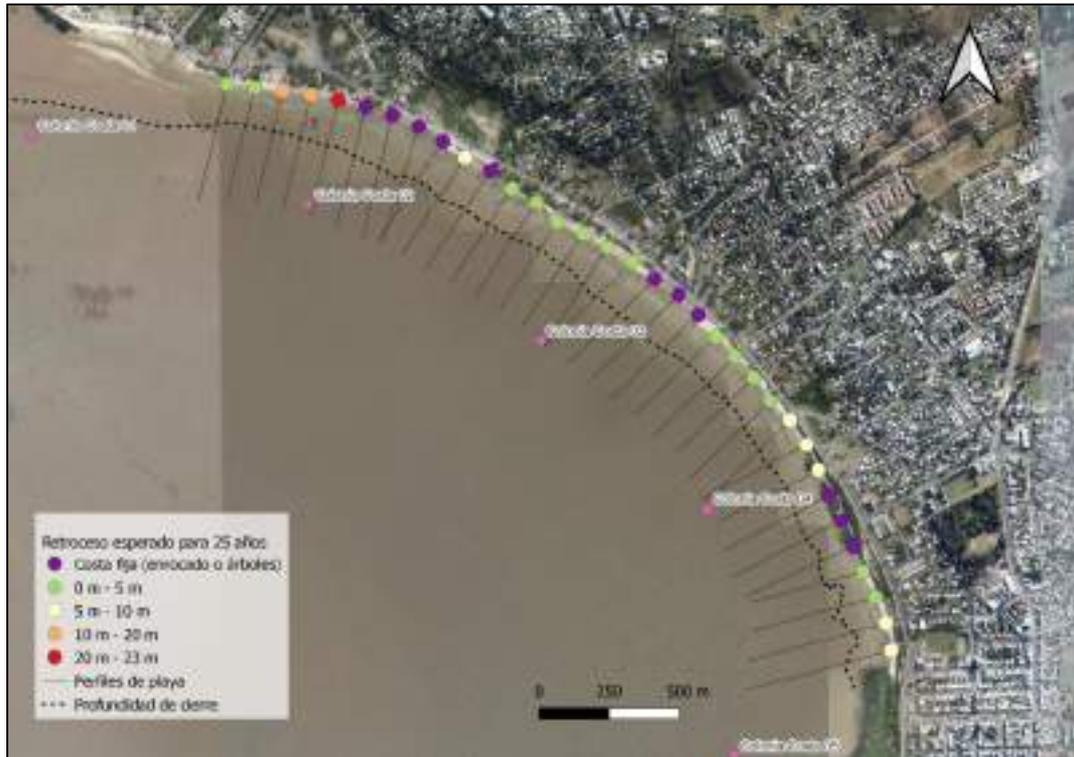


Figura 4-40 – Retroceso de la línea de costa por efecto del déficit de sedimentos calculado a 25 años (horizonte temporal 2050).

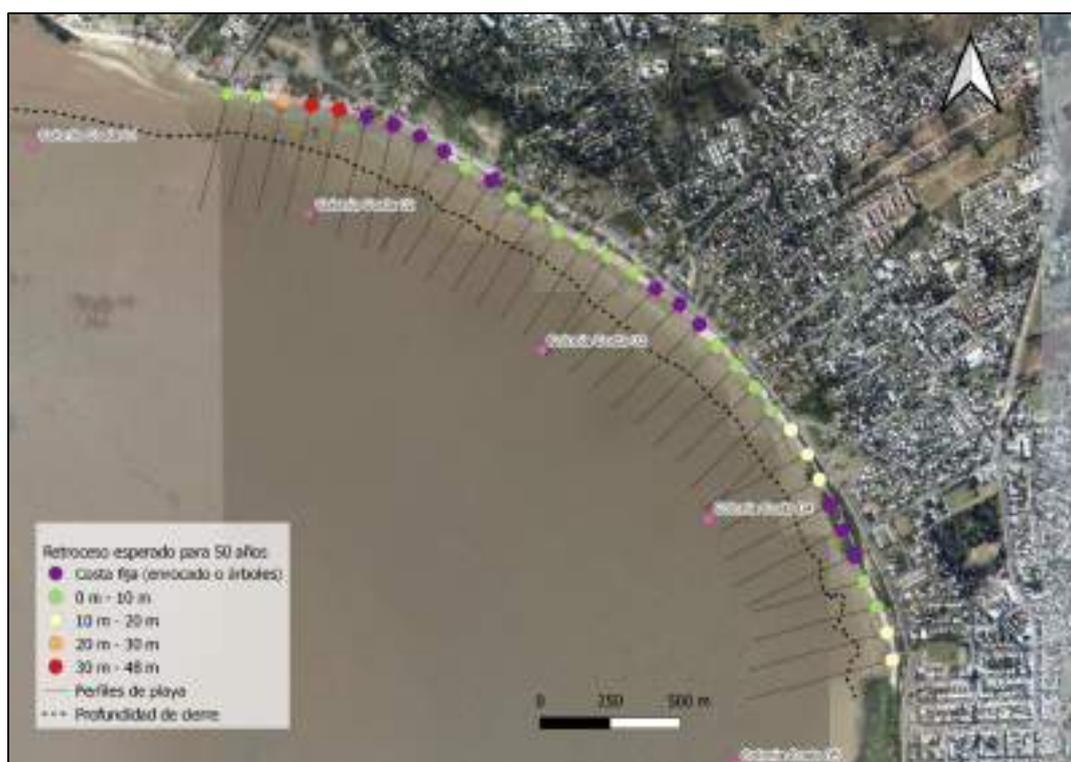


Figura 4-41 – Retroceso de la línea de costa por efecto del déficit de sedimentos calculado a 50 años (horizonte temporal 2075).

4.7.2. 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 o muro costero que limite el suministro de sedimentos desde tierra.

Para calcular el retroceso del perfil (o su descenso en caso de perfiles con revestimiento de roca) se utiliza el modelo ShoreTrans¹². 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

¹² 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>

medio del mar de forma realista. Los perfiles de playa se construyeron combinando la información topo-batimétrica proporcionada por la Intendencia de Colonia con la información del modelo digital del terreno disponible en la Infraestructura de Datos Espaciales (ide.uy). La Figura 4-42 presenta un ejemplo de aplicación del modelo ShoreTrans al perfil 17.

Las figuras siguientes muestran los resultados de retroceso de línea de costa en Colonia por efecto del aumento del nivel medio de mar para escenarios de aumento de 20 cm (Figura 4-43) y 40 cm (Figura 4-44) respecto al nivel medio actual. Se observa que los perfiles 16 a 19 (zona norte) muestran un retroceso mayor, con un máximo en el perfil 18 de 23 m para 2050 y 48 m para 2075.

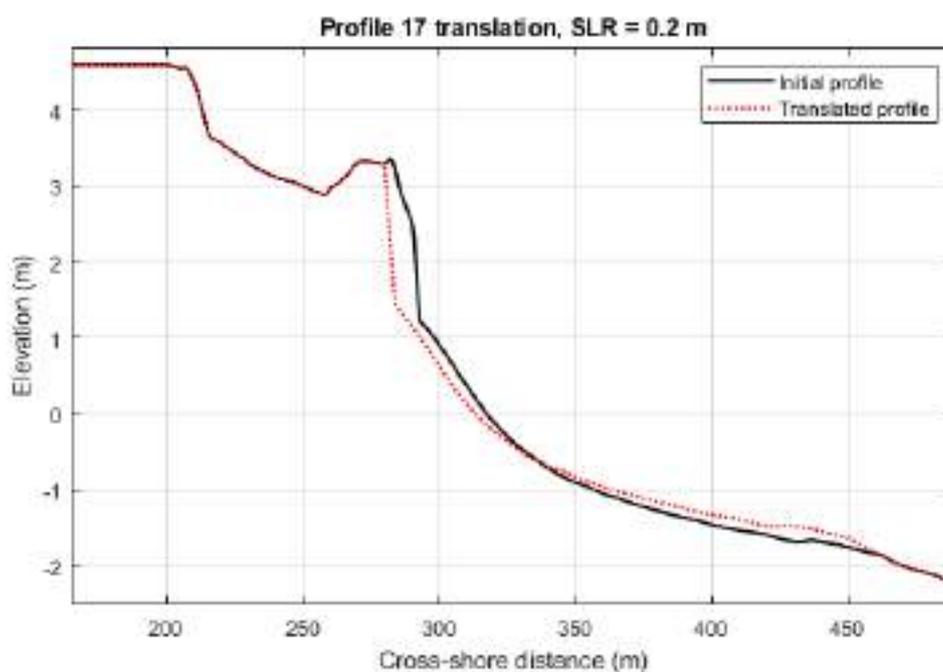


Figura 4-42 – Ejemplo de la aplicación del modelo ShoreTrans al perfil 17, considerando un aumento del nivel medio del mar de 20 cm.

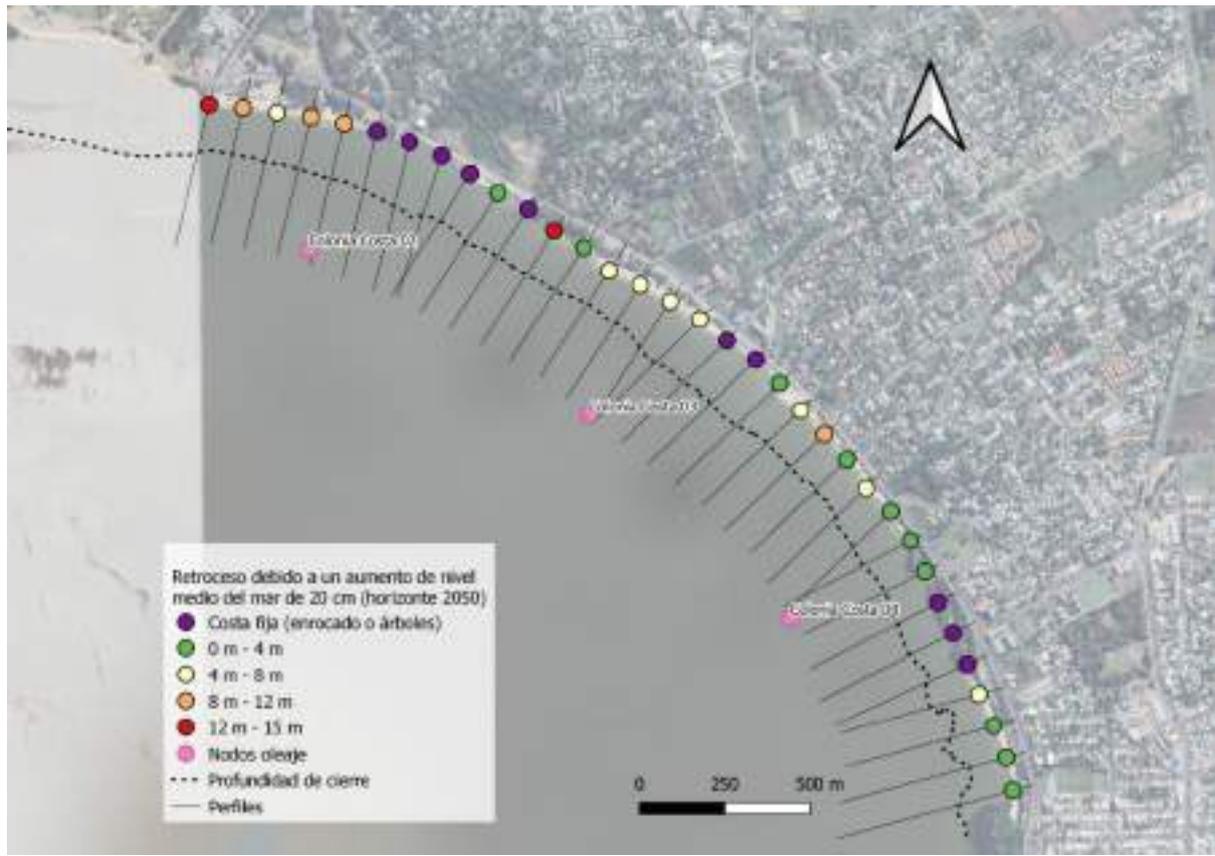


Figura 4-43 – Retroceso esperable de la línea de costa por efecto de un aumento de 20 cm del nivel medio del mar, calculado con el modelo ShoreTrans.

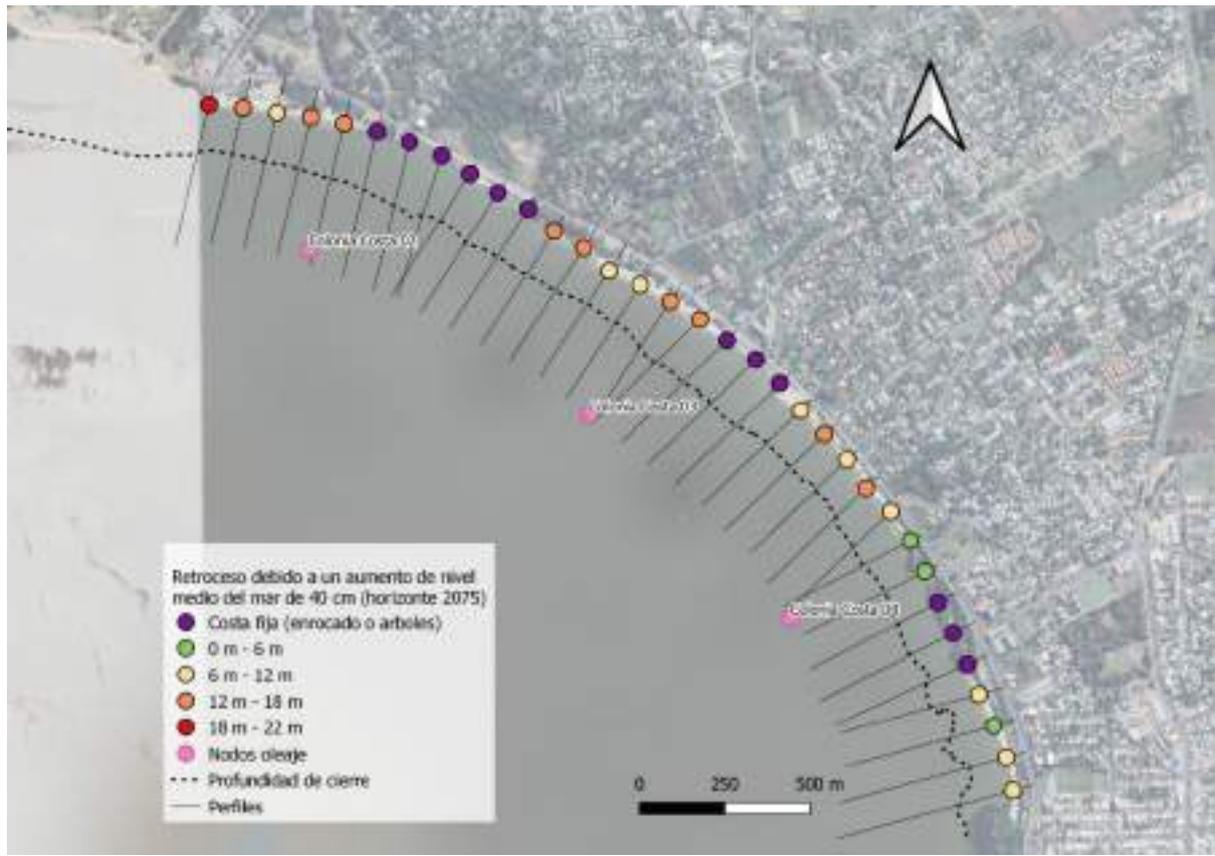


Figura 4-44 – Retroceso esperable de la línea de costa por efecto de un aumento de 40 cm del nivel medio del mar, calculado con el modelo ShoreTrans.

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

4.8.1. AMENAZA DE 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 4.3.5.5, 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*)¹³.
- No se considera la ocurrencia conjunta de precipitación y nivel de mar total 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 4.7, el principal cambio en los agentes marítimos asociados al cambio climático es el aumento del nivel medio del mar, siendo los cambios en

¹³ 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>

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 4-2) a los aumentos de nivel medio de mar considerados.

La Figura 4-45 presenta un ejemplo de las manchas de amenaza de inundación costera obtenidas con la metodología propuesta. El ejemplo corresponde a los eventos de 10 años de periodo de retorno en el clima actual (TR 10) y 100 años de periodo de retorno considerando un aumento de nivel de mar de 40 cm producto del efecto del cambio climático (TR 100+40cm)).

Superponiendo las manchas de inundación con el padronario urbano, se identifican 10 padrones inundables para el evento TR 10 (los padrones costeros: 3008, 3009, 3059 y 3149 y los padrones al Norte de la rambla: 3197, 7630, 7631, 3196, 3195, y 3245) y 94 padrones para el evento TR 100+40cm (los 4 padrones costeros y los padrones al norte de la rambla presentados en la Tabla 4-2). Esta información se encuentra resumida en la lámina L1 presentada como documento adicional a este informe.

Punto	Nivel de mar total en playa [m Wh.] clima actual					
	Tr 10	Tr 20	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500
1	3.7	3.9	4.2	4.4	4.6	4.9
2	3.7	3.9	4.2	4.4	4.6	4.9
3	3.7	3.9	4.2	4.4	4.6	4.9
4	3.7	3.9	4.1	4.4	4.6	4.9
5	3.6	3.8	4.0	4.3	4.5	4.7

Tabla 4-2 Nivel de mar total en playa [m Wh.] clima actual – Playa Colonia del Sacramento



Figura 4-45 Mancha de inundación para los escenarios de TR 10 y TR 100+40cm (con cambio climático: aumento nivel de mar de 40cm)

PADRONES URBANOS INUNDADOS TR100+40cm					
9889	10253	7630	9972	9940	3198
10294	10284	9886	10325	10282	9929
10287	6038	5165	10319	3196	11174
3197	3244	9888	9885	3246	10280
3220	13431	9881	10010	3195	1612
10009	10299	10274	5456	9969	2406
9932	10273	6624	10279	10297	9942
5163	9971	6818	3287	10327	10281
10324	10008	10283	10254	9939	10296
10265	5161	10308	13578	10288	9887

PADRONES URBANOS INUNDADOS TR100+40cm					
10323	9880	9934	7631	9941	10290
10292	9882	10293	9970	9973	10291
9974	9883	10278	5457	5166	10286
10289	3011	9931	9029	6625	5168
3010	5158	10326	10276	10285	3245

Tabla 4-3 Padrones urbanos inundables para TR 100+40cm

4.8.2. AMENAZA DE EROSIÓN COSTERA

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

1. Determinando el área de playa y volumen de arena perdido frente en distintos escenarios y horizontes temporales. Para esto se suman los retrocesos de la línea de costa estimados en la sección 4.7.1 por déficit de sedimentos a los estimados en la sección 4.7.2 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 4.7 más la variabilidad del perfil de playa estimado en la sección 4.4.3.

Se definen cuatro 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 déficit de sedimentos del sistema, sin considerar efecto del cambio climático.
- Línea de costa a 2075 considerando déficit de sedimentos del sistema, sin considerar efecto del cambio climático.
- Línea de costa a 2050 considerando déficit de sedimentos del sistema y aumento del nivel medio del mar de 20 cm.
- Línea de costa a 2075 considerando 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 4-46) y horizonte temporal 2075 con cambio climático (Figura 4-47). La Tabla 4-4 presenta las áreas de playa y parque perdidas para cada uno de los escenarios analizados, junto con el volumen de arena perdido en el sistema.

Horizonte - escenario	Pérdida de área de playa/parques [has]	Volumen de arena perdido del sistema [m3]
2050 sin cambio climático	1,5	25.000
2075 sin cambio climático	2,5	50.000
2050 con aumento NMM +20cm	2,5	25.000
2075 con aumento NMM +40cm	4,6	50.000

Tabla 4-4 Área de playa/parque y volumen de arena perdidos para cada uno de los escenarios analizados.

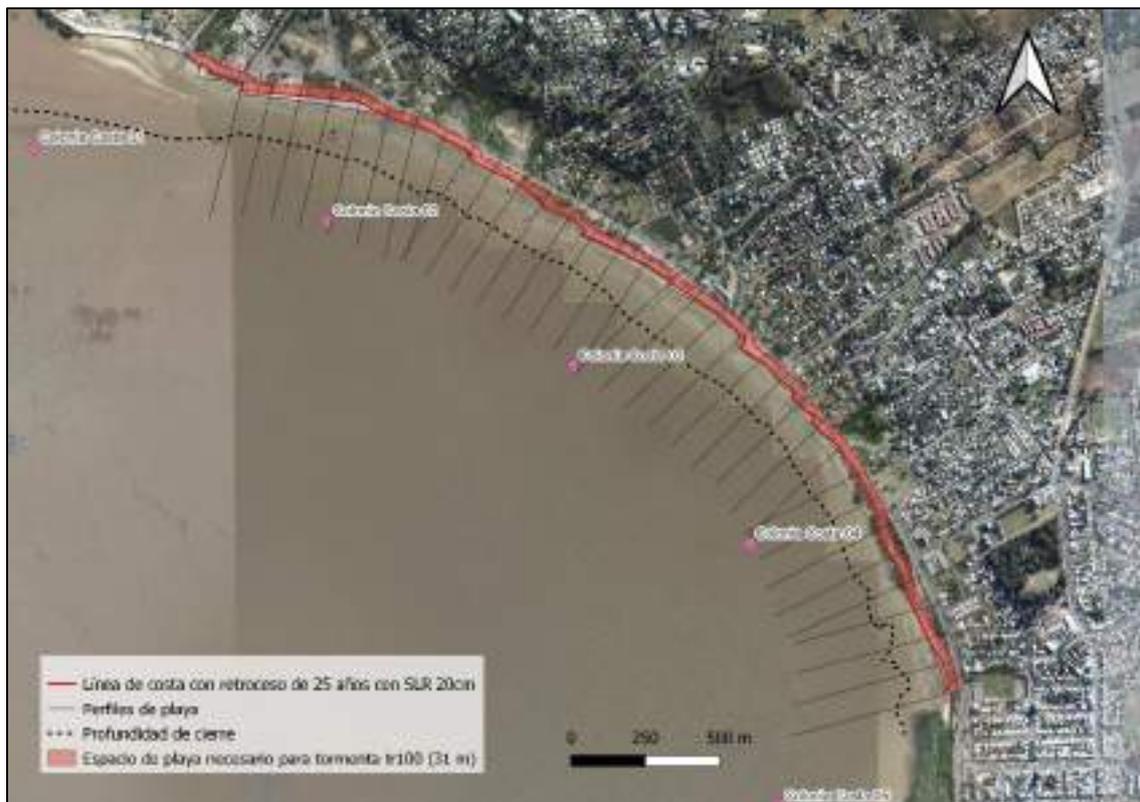


Figura 4-46 Línea de costa proyectada para 2050, considerando aumento del nivel medio del mar de 20 cm, y franja de variabilidad del perfil de playa considerando retroceso del perfil de 100 años de período de retorno

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023



Figura 4-47 – Línea de costa proyectada para 2075, considerando aumento del nivel medio del mar de 40 cm, y franja de variabilidad del perfil de playa considerando retroceso del perfil de 100 años de período de retorno.

Se incluye en la presente entrega una lámina resumen de diagnóstico (L1) la cual sintetiza los principales resultados del proceso de diagnóstico.

4.9. ESTUDIO DE DRENAJE PLUVIAL

4.9.1. IDENTIFICACIÓN INFRAESTRUCTURA DE DESCARGA A LA COSTA

Tanto en la instancia de visita al sitio como de la información proporcionada por la Intendencia de Colonia y la observación de la zona de estudio mediante imágenes satelitales, se constata la presencia de 18 descargas de escurrimientos pluviales/fluviales hacia la zona de playa. En la Figura 4-48 se presenta la ubicación de las descargas identificadas, junto con los cursos de agua e infraestructura de drenaje asociada a las mismas. En la Tabla 4-5 se presentan las características y ubicación de las descargas identificadas, esta información fue provista por la Intendencia de Colonia.



Figura 4-48 Descarga pluviales a la costa – Playa Colonia del Sacramento

Referencia	Ubicación	Tamaño
1	Álamo	95x45
2	Álamo, a unos metros del 1	Ø80 + 70x100
3	Mitad de playa el Álamo	Ø50
4	Oreja de Negro, 50m antes de la pérgola	3 de 70x100
5	Mirador de Oreja de Negro	Ø50
6	Duchas de Oreja de Negro	Ø50
7	50m después de duchas de Oreja de Negro	2 x Ø50
8	Fabini	Ø80
9	Horacio Quiriga	2 x Ø100 (uno tapado)
10	30m después del Hotel Bahía	Ø50
11	Frente al Matrero	Ø50
12	Victoria	Ø80
13	Enrique Hurtado	2 x Ø100
14	Entre Hurtado y Otaegui	2 x Ø100
15	Otaegui	2 x Ø50 + rampa
16	Canaletón del camping	3x3
17	Entre Mihanovich y E. Peraza	2 x Ø80
18	Eloy Perazza	2 x (3,10x2,70)

Tabla 4-5 Características y ubicación de descargas identificadas por Intendencia de Colonia. (Fuente: Intendencia de Colonia).

4.9.2. CARACTERIZACIÓN Y TRAZADO DE CUENCAS

Se procede a trazar las cuencas de aporte asociadas a cada una de las descargas identificadas. Para ello, se utiliza el modelo digital del terreno y curvas de nivel del IDE. Las cuencas trazadas se presentan en la Figura 4-49, mientras que las áreas de cada cuenca se presentan en la Tabla 4-6.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

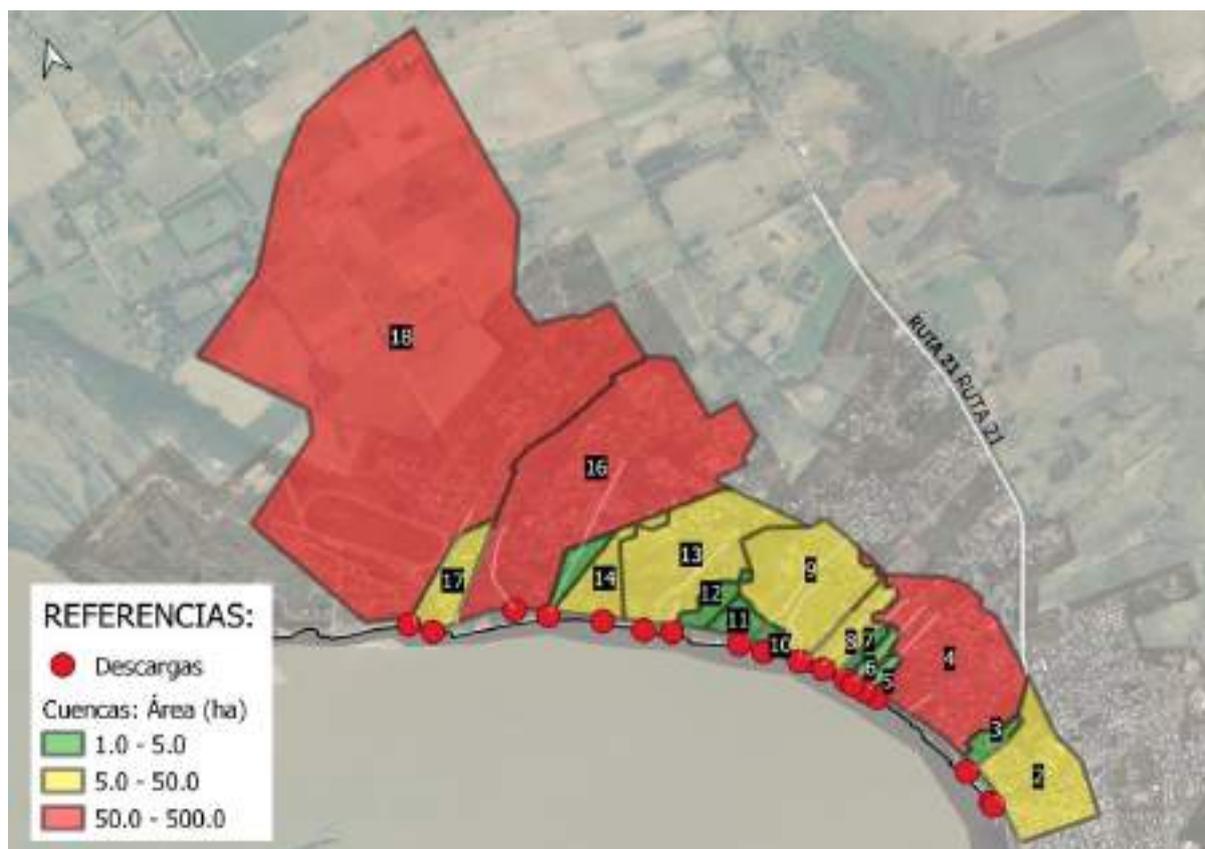


Figura 4-49 Cuencas de aporte a las descargas identificadas – Playa Colonia del Sacramento

ID CUENCA	Area (ha)
2	30,6
3	3,7
4	57,3
5	1,8
6	3,0
7	1,8
8	9,6
9	38,8
10	1,7
11	4,6
12	4,0
13	46,8
14	12,1
15	4,8
16	111,3
17	12,4
18	415,8

Tabla 4-6 Área (hectáreas) de las cuencas de aporte a cada descarga – Playa colonia del Sacramento

4.9.3. ESTUDIO HIDROLÓGICO DE CUENCAS

Se comienza calculando el tiempo de concentración para las cuencas en estudio mediante la fórmula de Desbordes tomando un tiempo de entrada de 5 minutos. A partir del resultado de tiempo de concentración para cada cuenca, se determina qué método de cálculo de escurrimiento es más adecuado para cada caso, ya sea Método Racional (para cuencas con $t_c < 20 \text{ min}$), método del NRCS (para cuencas con $t_c > 60 \text{ min}$) o ambas metodologías ($20 \text{ min} < t_c < 60 \text{ min}$). Los resultados, tanto del tiempo de concentración como del método de cálculo de escurrimiento a emplear en cada cuenca se presentan en la Tabla 4-7.

Cuenca	Área (ha)	Pendiente (%)	Tiempo de concentración (min)	Método utilizado
2	30,6	1,6	23	AMBOS MÉTODOS
3	3,7	3,0	14	RACIONAL
4	57,3	2,6	23	AMBOS MÉTODOS
5	1,8	3,4	12	RACIONAL
6	3,0	3,1	13	RACIONAL
7	1,8	3,7	11	RACIONAL
8	9,6	3,7	16	RACIONAL
9	38,8	3,8	22	AMBOS MÉTODOS
10	1,7	3,4	12	RACIONAL
11	4,6	4,3	14	RACIONAL
12	4,0	4,8	13	RACIONAL
13	46,8	2,5	26	AMBOS MÉTODOS
14	12,1	3,0	19	RACIONAL
15	4,8	4,4	13	RACIONAL
16	111,3	1,7	37	AMBOS MÉTODOS
17	12,4	1,0	25	AMBOS MÉTODOS
18	415,8	1,0	71	SCS

Tabla 4-7 Resultados de tiempo de concentración y metodología a utilizar para cada cuenca – Playa Colonia del Sacramento

Se determina la cobertura actual para cada cuenca, tomando zonas donde la ciudad se encuentra urbanizada (consolidada/poco consolidada) y zonas no desarrolladas. A partir de la identificación de dichas zonas, se pondera por áreas para cada cuenca, ya sea el coeficiente de escorrentía (C-Método Racional) o el número de curva (NC-Método NRCS). Para la determinación del coeficiente de escorrentía en las zonas urbanas, se toma una manzana tipo para cada clase de cobertura (consolidada y poco consolidada) y se halla el C para la misma. En la Figura 4-50 se puede observar las manzanas consideradas en cada caso. Cabe destacar que la diferencia entre consolidada y poco consolidada radica en el

porcentaje de área impermeable para cada caso; la manzana tipo consolidada posee un porcentaje de área impermeable del 80%, mientras que la manzana poco consolidada posee un porcentaje de área impermeable del 40%. Para cada cuenca se categoriza la zona urbana dentro de alguna de las dos tipologías de cobertura.



REFERENCIAS:

 Cobertura impermeable (Techo/pavimento)

Figura 4-50 Manzanas tipo consideradas para cada clase de cobertura urbana: poco consolidado ($A_{imp}=40\%$) y consolidado ($A_{imp}=80\%$) – Playa Colonia del Sacramento

Colonia poco consolidado					
Áreas manzana tipo		Período de retorno (años)	Cobertura		
			C impermeable	C verde (desarrollado)	C ponderado
A tot m2	16064,7	TR2	0,75	0,25	0,44
A imp m2	6242,825	TR5	0,8	0,28	0,48
A verde m2	9821,875	TR10	0,83	0,3	0,51
%Impermeable	39%	TR50	0,92	0,37	0,58
		TR100	0,97	0,41	0,63

Colonia consolidado					
Áreas manzana tipo		Período de retorno (años)	Cobertura		
			C impermeable	C verde (desarrollado)	C ponderado
A tot m2	17674,676	TR2	0,75	0,25	0,65
A imp m2	13.988	TR5	0,8	0,28	0,69
A verde m2	3.687	TR10	0,83	0,3	0,72
%Impermeable	79%	TR50	0,92	0,37	0,81
		TR100	0,97	0,41	0,85

Tabla 4-8 Coeficiente de escorrentía calculado para cada manzana tipo correspondiente a las coberturas urbanas de: poco consolidado y consolidado.

En los casos donde se utiliza el Método del NRCS, se calcula el número de curva para cada cuenca, ponderando por área según el tipo de cobertura (ver Tabla 4-9).

Cobertura	NC	Descripción
Poco consolidado	83	38% impermeable
Consolidado	94	85% impermeable
Área verde	79	Pradera/Pastizal

Tabla 4-9 Números de curva utilizados – Playa Colonia del Sacramento

Según los resultados presentados en la Tabla 4-2, se calculan los caudales pico para cada cuenca y cada período de retorno estudiado. El método a utilizar en cada cuenca se presenta en la Tabla 4-2, para los casos donde se deben usar ambas metodologías, se selecciona el caudal pico mayor. La precipitación de referencia P(3,10), para 3 horas de duración y 10 años de período de retorno es de 82 milímetros para la ciudad de Colonia, según las curvas IDF de todo el Uruguay.

En la Tabla 4-10 se presentan los caudales obtenidos en cada cuenca para los diferentes periodos de retorno en estudio.

Cuenca	Caudal máximo (m3/s) según TR				
	2	5	10	50	100
2	2,98	3,84	4,78	6,92	7,83
3	0,35	0,45	0,52	0,70	0,77
4	5,28	6,77	8,23	12,15	13,84

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

Cuenca	Caudal máximo (m3/s) según TR				
	2	5	10	50	100
5	0,18	0,23	0,27	0,36	0,40
6	0,28	0,36	0,42	0,56	0,63
7	0,18	0,23	0,27	0,36	0,40
8	0,82	1,05	1,22	1,62	1,80
9	2,49	3,20	3,73	4,96	5,50
10	0,13	0,16	0,19	0,25	0,28
11	0,34	0,44	0,51	0,68	0,75
12	0,39	0,50	0,58	0,77	0,86
13	2,68	3,44	4,01	5,34	6,36
14	0,73	0,93	1,08	1,44	1,60
15	0,45	0,58	0,68	0,90	1,00
16	5,27	6,76	7,88	12,56	14,91
17	0,70	0,90	1,05	1,40	1,67
18	8,28	15,37	20,72	33,73	39,56

Tabla 4-10 Caudales máximos – Playa Colonia del Sacramento

4.9.4. CÁLCULO DE CAPACIDAD DE LAS ALCANTARILLAS

En base a la información disponible se analiza de manera aproximada si las alcantarillas tienen la capacidad suficiente para conducir los caudales de aporte en el escenario actual. Este cálculo es estimado y por lo tanto implica asumir ciertas hipótesis que se presentan a continuación:

- Se asume que la pendiente de las alcantarillas es del 1%;
- Se considera número de Manning = 0,02;
- Se estima a partir del MDT del IDE el desnivel entre la descarga y la zona de la rambla.

Con dichas consideraciones, se realiza la modelación de cada alcantarilla en el software SWMM para los caudales correspondientes 2, 5, 10 y 100 años de período de retorno, de manera determinar el funcionamiento de las mismas y se ocurren desbordes por la rambla.

Los resultados obtenidos indican que ciertas alcantarillas trabajan en carga (ante ciertos eventos modelados) pero en ningún caso se presentan desbordes por sobre la rambla. Los

resultados particulares de cada alcantarilla se presentan en la siguiente tabla.

Descarga	TR2	TR5	TR10	TR100
2	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
3	Llena la sección	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
4	Capacidad a 0,96	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
5	Capacidad a 0,64	Capacidad a 0,74	Capacidad a 0,85	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
6	Capacidad a 0,88	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
7	Capacidad a 0,43	Capacidad a 0,49	Capacidad a 0,54	Capacidad 0,68
8	Capacidad a 0,81	Capacidad a 0,91	Capacidad a 0,93	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
9	Capacidad a 0,72	Capacidad a 0,86	Capacidad a 0,91	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
10	Capacidad a 0,52	Capacidad a 0,59	Capacidad a 0,65	Capacidad 0,87
11	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
12	Capacidad a 0,49	Capacidad a 0,57	Capacidad a 0,62	Capacidad 0,82
13	Capacidad a 0,73	Capacidad a 0,89	Capacidad a 0,91	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
14	Capacidad 0,36	Capacidad 0,41	Capacidad 0,45	Capacidad 0,56
15	Capacidad 0,78	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro	Llena la sección y sube el nivel en el registro pero no desborda
16	Capacidad 0,23	Capacidad 0,28	Capacidad 0,31	Capacidad 0,5
17	Capacidad 0,47	Capacidad 0,55	Capacidad 0,6	Capacidad 0,81
18	Capacidad 0,17	Capacidad 0,24	Capacidad 0,29	Capacidad 0,45

Tabla 4-11: Resultados de las modelaciones realizadas a nivel de aproximación.

4.9.5. DIAGNÓSTICO PROBLEMÁTICA DE EROSIÓN DE TALUD (RAMBLA Y CALLE ITALIA)

La Intendencia de Colonia menciona que ante eventos de precipitación el escurrimiento pluvial sobre la rambla a la altura de la calle Italia desborda el cordón, sobrepasando la vereda y vertiendo hacia la costa por el talud de la calle, provocando la erosión del mismo (Figura 4-51).

Para abordar la problemática planteada se estudia el microdrenaje de la zona. Se destaca en este sentido, que no se cuenta con información de captaciones y conducciones pluviales presentes, por lo que el análisis se realiza en base a la topografía del MDT del IDE y las imágenes de Street view (año 2015).



Figura 4-51: Fotografías tomadas en la visita a sitio, en la zona donde el personal de la Intendencia constata la problemática de erosión del talud (Rambla y calle Italia).

Se mapean las captaciones existentes en la zona de estudio y se trazan las cuencas y subcuencas de aporte (ver Figura 4-52 y Figura 4-53).

- La calle Italia se encuentra en desnivel con la Rambla, por lo que se determina la cuenca de aporte al final de la calle previo al desnivel (Cuenca C-1) donde se observan dos bocas de tormenta de 0.6m de largo (Captación 1). A su vez, se observan dos bocas de tormenta de 1,2m de largo y una reja de 60cmx60cm en la esquina de las calles Artigas e Italia (Captación 2). En función de dichas captaciones, se trazan las subcuencas C1-1 a C1-5.
- La cuenca C-2 tiene su punto de cierre en la zona sobre la rambla que presenta el problema de desborde del cordón y erosión del talud.

- Finalmente, la cuenca incremental C-3 con punto de cierre en la captación sobre la rambla frente al estacionamiento del estadio (Captación 3), la cual recibe el aporte de la cuenca C-2 y descarga en la costa.



Figura 4-52: Cuencas de aporte de la zona estudiada.



Figura 4-53: Captaciones de interés en la zona estudiada.

Para las cuencas trazadas, se realiza el cálculo del caudal pico para TR 2 años utilizando el método racional. El resultado de dicho cálculo se presenta en la siguiente tabla.

Cuenca	Subcuenca	Q TR2 (L/s)
C-1	C1-1	42
	C1-2	94
	C1-3	12
	C1-4	31
	C1-5	93
C-2	-	121
C-3+C-2	-	239

Tabla 4-12: Caudal pico para tr 2 años en las cuencas de la zona de estudio.

Se comparan los valores obtenidos, con el caudal máximo que capta una boca de tormenta tipo 1 de la intendencia de Montevideo (largo de boca 1,2m) de 60 l/s. También se estima la capacidad de captación tanto de la reja de 60cmx60cm como de las bocas de tormenta de 0,6m de largo.

Se observa que las captaciones de las cuencas C1-2 y C1-5 (ubicadas en la vereda norte de la calle Italia) son insuficientes para tomar el caudal pico. Por tanto, el escurrimiento sobrante continua por la calle Italia (cruzando calle Artigas del lado norte), donde alcanza la captación en la zona de calle cerrada. Dicha captación posee capacidad insuficiente, con lo cual el agua se eleva por encima del cordón, desbordando por el terraplén de hormigón hacia la rambla.

Se estima que debido a la gran pendiente que posee el murallón, el agua escurre a velocidad elevada, cruzando la rambla y erosionando el talud (ver Figura 4-54).

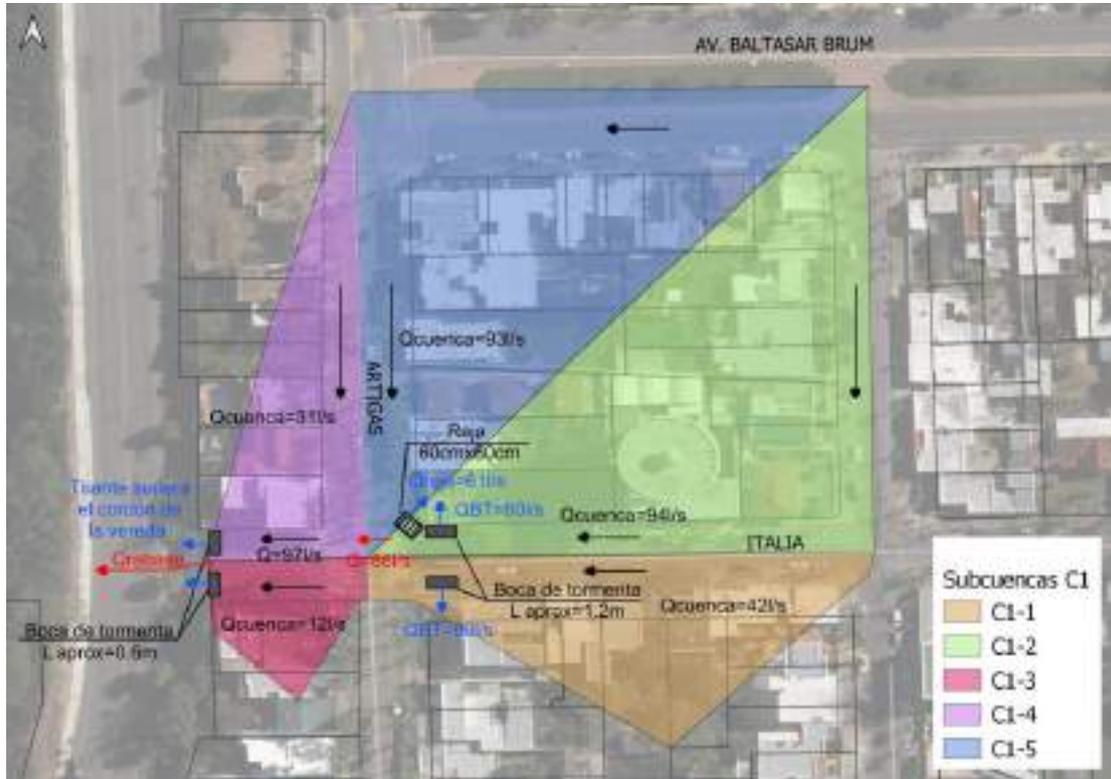


Figura 4-54: Planteo esquemático del microdrenaje en la zona estudiada (Cuenca C-1).

En base a este análisis y a la información disponible, se considera como medida de aplicación inmediata, mejorar la capacidad de captación de las bocas de tormenta ubicadas sobre la calle cerrada. De este modo se podría captar el total del escurrimiento y por ende reducir la situación de rebase hacia la zona de la rambla. Para realizar dicho diseño se deberá contar con un relevamiento topográfico de la zona y de la infraestructura de drenaje existente.

Sin embargo, se recomienda realizar un estudio más detallado que involucre el análisis del microdrenaje de toda la cuenca de aporte, para plantear soluciones (nuevas captaciones y conducciones) que impidan que el escurrimiento llegue a la calle cerrada. A su vez, como medida de mejora se plantea la colocación de una captación sobre la rambla frente a la calle Italia para evitar que se vea recargada la captación 3.

4.10. PROPUESTA Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Siguiendo la lógica propuesta en las “Estrategias para la protección de la costa” del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico de España¹⁴, 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 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 tradicionales¹⁵, y (2) que las medidas de actuación que se propongan podrán requerir de

¹⁴ Ver: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategias-proteccion-costa/>

¹⁵ 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 (NbS, por sus siglas en inglés) 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)¹⁶:

“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 FRM¹⁷. 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 4-55).

¹⁶ 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>

¹⁷ 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.

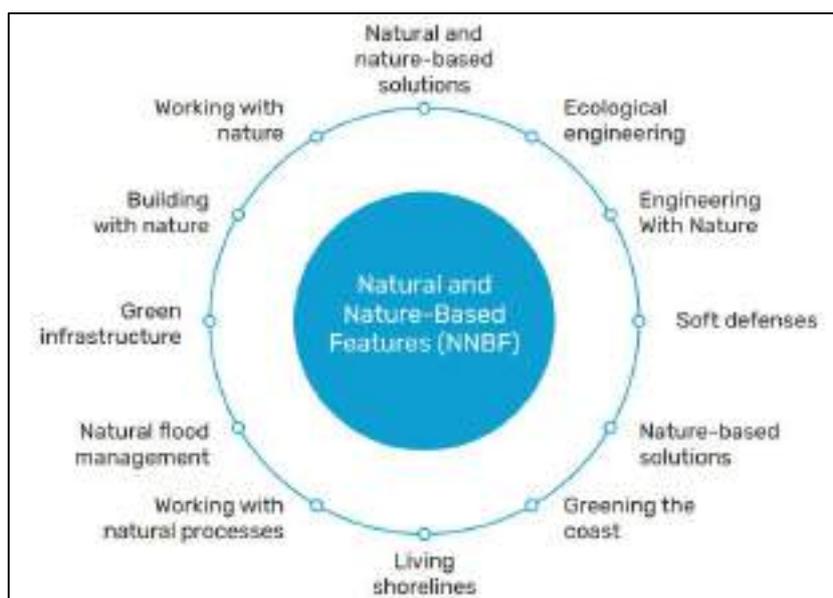


Figura 4-55 Términos usados en la bibliografía en la que se abordan las soluciones basadas en la naturaleza (Figure 1.1 de Bridges et al. 2021).

4.10.1. CRITERIOS DE DISEÑO CONSIDERADOS

Se toman los siguientes criterios para la propuesta de alternativas:

- Para la propuesta de alternativas se considerará una vida útil de la intervención de 25 años (i.e. el diseño de alternativas se hace considerando el horizonte temporal 2050).
- El objetivo de la intervención será reducir el nivel de amenaza de inundación y erosión y mantener durante la vida útil de la intervención un espacio de playas y parques igual o mayor al actual (el área actual de parques y playas se estima en aproximadamente 16 has; ver Figura 4-56).
- Desde el punto de vista del paisaje, se buscará reducir la compartimentación de la playa producida por los espigones actuales.



Figura 4-56 – Área de playa y parque actual (aprox. 16 has).

4.10.2. CONSIDERACIONES PRELIMINARES PARA LA PROPUESTA DE ALTERNATIVAS

4.10.2.1. Respecto a las posibles NbS a ser implementadas en la zona

Se identifican tres ecosistemas que pueden ser utilizados como NbS:

- Sistema de playa-duna (ecosistema dunar). Este sistema es el predominante en el arco de playa de Colonia del Sacramento y probablemente sea la NbS más habitual en costas controladas por oleaje¹⁸.
- Sistemas de juncales (ecosistema litoral). La presencia de estos ecosistemas se ha incrementado a lo largo del tiempo en el arco de playa de Colonia del Sacramento, y se considera que los mismos podrían ser aprovechables en algunos tramos de costa

¹⁸ Lodder, Q., C. Jeuken, R. Reinen-Hamill, O. Burns, R. Ramsdell, III, J. de Vries, B. McFall, S. Ijff, C. Maglio, and R. Wilmink. 2021. "Chapter 9: Beaches and Dunes." In Natural and Nature-Based Features Guidelines. Edited by T. S. Bridges, J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder, and R. K. Mohan. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.

en los que la reconstrucción del sistema de playa-duna no sea viable a largo plazo. Se espera que los servicios que preste este ecosistema sean similares a los descritos en la bibliografía para los humedales costeros¹⁹.

- Bosque costero nativo. Si bien actualmente, el matorral o bosque costero existente se caracteriza por poseer gran cantidad de especies exóticas, algunas hasta con comportamiento invasivo, ocurren en los parches de bosque costero especies autóctonas (*Dodonea* sp, *Rapanea* s, *Salix* sp, *Erythrina* sp entre otras) propias de los bosques psamófilo y fluviales nativos. La propuesta integra un manejo del bosque costero existente que se traduce en:
 - a) manejo y control de especies exóticas (*Acacia* sp, *Carpobrotus* sp entre otras)
 - b) implantación de especies nativas y aumento de superficie de bosque costero nativo.

Este trabajo de manejo de exóticas, implantación de ejemplares nativos y su adecuado mantenimiento, es la medida SbN que busca fortalecer la calidad del ecosistema boscoso nativo asociado al sistema costero. La restauración y conservación brinda atributos al territorio en materia de adaptación y resiliencia al cambio climático. El componente de bosque nativo como parte del parque del borde urbano costero permite fundamentalmente: disminuir el riesgo e impacto de caída de grandes árboles en la costa (*eucaliptus* y pinos), disminuir procesos de erosión dunar evitando el efecto de sombra permanente producidos por *eucaliptus*, pinos y otras especies exóticas, sobre el matorral y herbazal dunar. Además incorpora otros atributos asociados, como ser refugio de biodiversidad y valor patrimonial cultural para ciudadanos y visitantes.

4.10.2.2. Respecto al déficit de sedimentos de la zona y su estabilización

El retroceso de la línea de costa y la reducción del área de playa y parques disponible que se proyecta a futuro tiene dos orígenes: el déficit de sedimentos del sistema por efecto del transporte litoral y la redistribución de los sedimentos en el perfil de playa por efecto del aumento del nivel medio del mar.

¹⁹ Piercy, C. D., N. Pontee, S. Narayan, J. Davis, and T. Meckley. 2021. "Chapter 10: Coastal Wetlands and Tidal Flats." In *International Guidelines on Natural and Nature-Based Features for Flood Risk Management*. Edited by T. S. Bridges, J. K. King, J. D. Simm, M. W. Beck, G. Collins, Q. Lodder, and R. K. Mohan. Vicksburg, MS: U.S. Army Engineer Research and Development Center.

Se entiende adecuado incorporar en la alternativa medidas de estabilización de la costa que limiten la pérdida de sedimentos del sistema, ya que esto limitará la necesidad de incorporar nuevo sedimento al sistema en el futuro. Se identifican dos medidas posibles para ello:

Diques exentos (paralelos a la costa)

La incorporación de diques exentos, emergidos o sumergidos, facilita la estabilización de la línea de costa, generando salientes o tómbolos relativamente estables. Estas obras funcionan reduciendo la energía del oleaje en el lado de trasdós. A priori se descarta el uso de esta tipología de obras por las siguientes razones: (a) no existe experiencia local en cuanto a su implementación, (b) hay gran incertidumbre en la determinación de cómo será el comportamiento de la zona abrigada por la obra en términos de deposición de sedimentos finos y crecimiento de vegetación, y (c) en esta zona hay fuerte correlación entre las condiciones severas de oleaje y los niveles de mar altos, lo que resulta en una reducción de la efectividad de la obra para condiciones extremas o, alternativamente, en la necesidad de coronar la estructura a niveles más altos, con el consiguiente impacto en la visual.

Además de los efectos reseñados sobre las dinámicas costeras de diques exentos, paralelos y relativamente próximos a la costa, deben reconocerse singulares impactos en la percepción del paisaje. Si bien los diques se localizarían en el Área de Amortiguación Fluvial -definida en el Plan de Gestión del Barrio Histórico-, la distancia respecto al Sitio Patrimonial (Barrio Histórico) y su escasa magnitud, plantean un reducido impacto frente la enorme extensión del escenario constituido por la Bahía. Debe presumirse que podrían ser fácilmente naturalizados por la sociedad, como lo fueron, en su momento, los múltiples espigones incorporados a la costa.

Sin embargo, en la contemplación cercana, desde la playa, la modificación del paisaje se vuelve sustancial, al perderse la visión del horizonte. Seguramente, la ganancia de superficie de playa no lograría compensar la pérdida de paisaje. Esto es así, aunque debe considerarse que esta percepción se atenúa crecientemente a medida que el observador se aleje del borde costero y, sobre todo, al ascender en los puntos naturalmente altos de la rambla costanera.

Espigones (normales a la costa)

Estas estructuras cortan el transporte litoral de sedimentos de forma total o parcial, dependiendo de la longitud del espigón respecto a la localización de la profundidad de cierre

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

del perfil. Al cortar el transporte litoral logran acumular arena aguas arriba corriente litoral y pueden generar erosión aguas abajo corriente litoral. A priori se considera que los espigones son obras viables para estabilizar la costa en la zona de estudio (reduciendo el déficit de arena del sistema) dado que: (a) actualmente son parte del sistema y han mostrado su funcionalidad (se observa acumulación de arena en los espigones), y (b) los espigones actuales no alcanzan la profundidad de cierre por lo cual hay margen para aumentar la capacidad de estabilización extendiendo al menos alguno de los espigones existentes.

4.10.2.3. Respetto a la materialización de los rellenos de playa

Teniendo en cuenta que el ecosistema playa-duna es el más extendido en la zona de trabajo, así como la abundancia de sedimentos no cohesivo (arena) que existe en las cercanías, a priori se prevé que el relleno de playas (suministro de sedimentos al sistema) para facilitar la reconstrucción del ecosistema playa-duna será parte fundamental de cualquier alternativa de adaptación. Sin embargo, caben algunas reflexiones en cuanto a cómo materializar estos rellenos:

- Granulometría de la arena, método de vertido y lugar de vertido en el perfil de playa. Estos son aspectos que están condicionados por la zona de préstamos a utilizar, así como las posibilidades técnicas de los quipos de traslado y vertido de la arena, por lo que deberán ser analizados en etapas de prediseño y diseño ejecutivo, según corresponda.
- Distribución espacial (en planta) de los vertidos. Existen al menos dos alternativas de distribución en planta del relleno: (a) realizar el relleno intentando reproducir una forma en planta de la playa que sea cercana al equilibrio estático, o (b) distribuir el relleno de playa de forma aproximadamente uniforme a lo largo de todo el arco de playa, intentando alcanzar un ancho de playa uniforme al final de la obra. De cara a potenciar el desarrollo del ecosistema playa-duna, se entiende que la opción (a) es la más recomendable, ya que minimiza el flujo litoral de sedimentos y, por lo tanto, las tendencias erosivas y acrecivas diferenciales en distintos tramos de costa. La opción (b) en cambio evolucionará en el tiempo forzada por el transporte litoral, generando zonas de erosión poco propicias para el desarrollo de un sistema playa-duna saludable.
- Distribución temporal de los vertidos. Nuevamente, dado un volumen de relleno necesario a lo largo de la vida útil, el mismo podrá aportarse de forma concentrada en

el tiempo o de forma distribuida en el tiempo (e.g. rellenos anuales, bienales o quinquenales). En este sentido, se entiende que concentrar los rellenos en el tiempo tiene varias ventajas: (1) genera una única afectación puntual al ecosistema de la zona de préstamos, (2) facilita el desarrollo del ecosistema playa-duna, evitando afectaciones repetidas producto de recargas sucesivas, (3) reducción de costos por la incorporación de equipos mecánicos de mayor porte que resulten más eficientes.

4.10.3. ALTERNATIVA PROPUESTA

Atendiendo lo expuesto en las secciones anteriores, se propone la alternativa de intervención que se muestra en la Figura 4-57, la cual tiene las siguientes características:

1. Se extienden cuatro espigones hasta más allá de la profundidad de cierre (un total de 985 m de espigón a reforzar o construir) y se retiran los espigones restantes (se deben retirar 660 m de espigón aproximadamente). Con esto se reduce la compartimentación actual de la playa, a la vez que se reduce la pérdida de sedimentos del sistema.
2. Los espigones extendidos definen cuatro tramos de costa. En cada uno de estos tramos se realiza un relleno de playa, buscando alcanzar la forma en planta de equilibrio estático al final de la obra. La posición de la línea de costa en cada uno de estos tramos se presenta en la Figura 4-58 a Figura 4-61.
3. En cada uno de los cuatro tramos habrá una zona de avance de la playa, cuya sección tipo a nivel conceptual se presenta en la Figura 4-62, y una zona de fijación de la línea de costa, cuya sección tipo conceptual podrá ser de tipo obra dura tradicional (Figura 4-63 izq.), reforzando los revestimientos de roca actuales, o de tipo estructura híbrida (Figura 4-63 der.), en que se combinen los revestimientos actuales o a construir con una zona de crecimiento del ecosistema de juncales. La Tabla 4-13 resume los metros lineales resultantes de cada ecosistema/tipología para cada tramo y para el total de la alternativa.

Tramo	m.l. de ecosistema playa-duna	m.l. de revestimiento o ecosistema juncal
I	675	430
II	470	350
III	460	530
IV	240	120
Total	1.845	1.430

Tabla 4-13 Resumen de metros lineales de ecosistema playa-duna y revestimiento con o sin ecosistema de juncal para cada tramo de la alternativa propuesta.

Consideraciones desde el paisaje y usos

Esta alternativa se trata, en realidad, de un perfeccionamiento de las medidas ya existentes, con la ampliación de algunos de los actuales espigones, que conforman el gran arco de la Bahía en arcos de playa menores. Se plantea la reducción del número actual de arcos costeros y la ampliación simultánea de la superficie de playa. Por lo expresado, esta alternativa registra muy limitadas consecuencias en el paisaje costero, tanto en la visión lejana como en la próxima. Es una sencilla evolución de la situación actual, cuya única alteración será la ampliación notoria en las áreas arenosas de la costa, por lo cual resultará de fácil y rápida asimilación por el cuerpo social.

Estos aspectos se desarrollan con mayor profundidad en el apartado 4.10.4.

Respecto al volumen de arena necesario

El volumen de arena a colocar en las playas contempla el retroceso esperable de la línea de costa por efecto del aumento del nivel medio de mar a 2050. A su vez, se tiene en cuenta que durante el vertido de arena se pierde parte del material vertido. A efectos del diseño conceptual, se asume que esta pérdida corresponde al 40% del volumen final colocado en sitio. La Tabla 4-14 presenta el volumen total colocado en sitio y el volumen total de material de préstamo para cada tramo y para el conjunto de la alternativa. Además de estos volúmenes, se podrá prever aportes adicionales para propiciar la regeneración de dunas.

Tramo	Volumen de arena colocado [m ³]	Volumen de arena de préstamo [m ³]
I	16.000	22.000
II	15.000	21.000
III	13.000	18.000
IV	4.000	6.000
Total	48.000	67.000

Tabla 4-14 Volumen total de arena colocado en sitio y volumen total de material de préstamo para cada tramo y para el conjunto de la alternativa.

Respecto a posibles recargas y gestión de los sedimentos

La alternativa propuesta prevé una disminución sustancial del déficit de sedimentos del sistema, por lo que a nivel de diseño conceptual no se prevén rellenos de mantenimiento durante la vida útil de la obra.

Respecto a la reconstrucción de ecosistemas

El ecosistema playa-duna es central en la alternativa propuesta, proporcionando el espacio suficiente para atender la variabilidad natural de la playa y el retroceso de la línea de costa por aumento del nivel medio del mar. Es necesario por tanto incorporar medidas para la revegetación de la duna, y prever la implantación y mantenimiento de cercas captoras para el desarrollo de un sistema dunar saludable.

El ecosistema de juncuales, como alternativa al refuerzo de los enrocados existentes, podría proveer algunos beneficios adicionales respecto a este último, como ser: acumulación de sedimentos a largo plazo; secuestro de carbono; disipación de la energía del oleaje y consecuente reducción del caudal de rebase del revestimiento. A su vez, este ecosistema podría funcionar como primer receptor y disipador de las descargas de pluviales.

La adecuación de los ecosistemas de bosque costero nativo permite evitar los impactos negativos sobre el ecosistema dunar y mejorar la resiliencia del parquizado del borde costero porque al ser de menor porte, disminuyen el riesgo de caída de árboles durante eventos de fuertes vientos.

Estos aspectos se desarrollan con mayor profundidad en el apartado 4.10.5

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

Respecto a la configuración en planta y tipología de los espigones

Existen distintas tipologías posibles para los espigones. En principio la tipología de hormigón se descarta por ser una obra relativamente frágil y de difícil ejecución, y que ha mostrado ser problemática en la zona (hay evidencia de espigones rotos y descalzados). La tipología de material suelto (enrocado) presenta algunas ventajas: se utilizan materiales naturales disponibles en la zona; es una tipología de fácil ejecución y relativamente bajo riesgo de errores constructivos graves; hay experiencia en el departamento en la construcción de este tipo de obras.

Respecto a posibles ampliaciones del área de playa

Es posible adaptar de forma prácticamente inmediata la alternativa propuesta a objetivos de diseño que contemplen mayor área de parques y playas. Para esto deberá aumentarse la longitud de los espigones y el volumen de arena del relleno. A modo de ejemplo, para alcanzar al final de la vida útil un volumen de playa y parques similar al existente en 1966 (estimado en 22 has (i.e. un aumento de 38% en el área de playas y parques respecto a la alternativa base), sería necesario aumentar aproximadamente 28 m adicionales la línea de costa al momento de realizar el relleno de playa, lo que implicaría incrementar el volumen de arena de relleno (extracción) en 260.000 m³ (336.000 m³) (un aumento de 500% respecto a la alternativa base), e incrementar la longitud total de espigones en 110 m (aumento de 11% respecto a la alternativa base).



Figura 4-57 – Alternativa propuesta. La línea de costa y las áreas de playa y parque señaladas corresponden al final de la vida útil de la obra (horizonte 2050).



Figura 4-58 – Alternativa propuesta. Tramo I.



Figura 4-59 – Alternativa propuesta. Tramo II.



Figura 4-60 – Alternativa propuesta. Tramo III.



Figura 4-61 – Alternativa propuesta. Tramo IV.

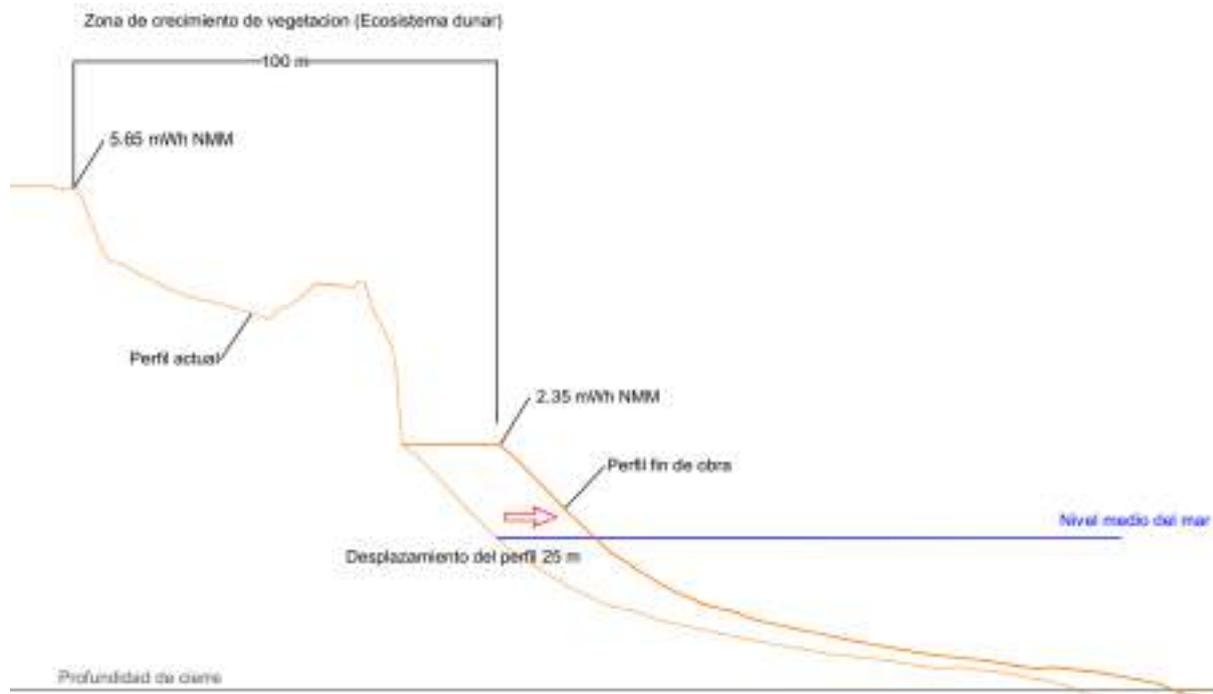


Figura 4-62 – Esquema conceptual de avance de la línea de costa por el relleno de playa (ecosistema playa-duna).

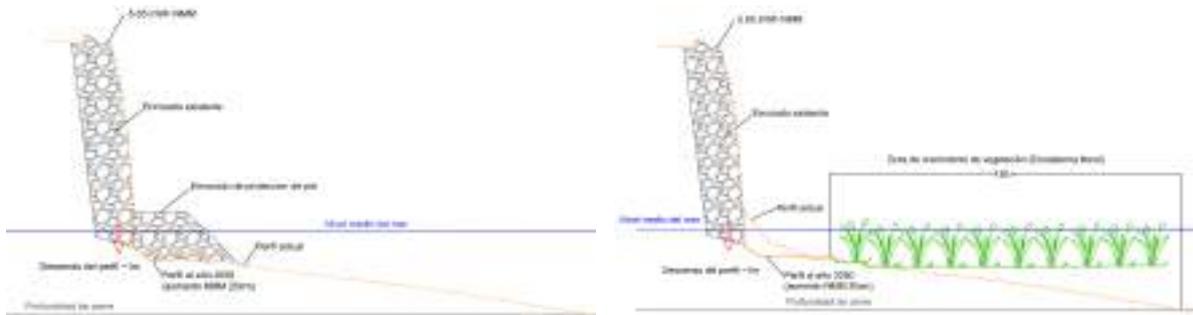


Figura 4-63 – Esquema conceptual del refuerzo del revestimiento actual (fijación de línea de costa) mediante recarga del enrocado (izq.) o mediante generación de ecosistema de juncuales (der.).

4.10.4. ASPECTOS URBANOS Y SOCIALES DE CADA TRAMO

La alternativa propuesta simplifica notoriamente el sistema actual, constituido por muchos y bastante reducidos arcos de playa, y los agrupa en cuatro grandes arcos, limitados por espigones enrocados, que son, en principio, ampliación, extensa en longitud y limitada en altura, de algunos de los espigones existentes. Se lograrían consolidar cuatro playas arenosas extensas en los sectores resultantes y en ellos se pasan a configurar claramente cuatro de las presentes playas de Colonia.

4.10.4.1. Sector I - playa Real de San Carlos

En el sector I -playa Real de San Carlos- se propone la consolidación del área de camping con fogones y servicios (parador y servicios higiénicos), junto con el trabajo en la reformulación de ralo bosque existente, de flora exótica, para su recolonización por vegetación psamófila, además de la reconstrucción de dunas.

Existe una parada de ómnibus en la bocacalle de Juan Manuel Caballero y cruce peatonal en Nicolás Mihanovich, lo que lleva a sugerir la incorporación de pasarela de madera sobre pilotís para sortear el área dunar y acceder a la playa arenosa, con cabecera en las proximidades de aquéllas.

Se recomienda formalizar y delimitar las playas de estacionamiento del parador y la existente en el eje de la avenida Nicolás Mihanovich (en este caso, coincidente con los restos del muelle histórico).

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

En los ingresos vehiculares a la faja costera, en el eje de la calle Juan Manuel Caballero y en el eje de la calle Alejandro Otaegui, se sugiere señalizar a efectos de limitar el ingreso exclusivamente para acceder a los parrilleros existentes y limitar la circulación vehicular.

Entre la calle Alejandro Otaegui y Enrique Hurtado debiera analizarse la eliminación de los accesos de vehículos y su circulación, que hoy se realiza por una calzada precaria paralela a la calzada de la Rambla, y su sustitución área plantada con especies nativas propias de bosque costero nativo fluvial.

En el área de la plazuela Del Crepúsculo, en el eje de la calle Alejandro Otaegui, podrán proyectarse equipamientos y mobiliario, complementarios de los baños públicos allí localizados.

Donde se localiza el cartel de letras volumétricas con la palabra Colonia puede diseñarse un espacio urbano algo más abierto, para aprovechar las visuales lejanas de valor. Lo que origina la necesidad de formalizar la playa de estacionamiento vehicular existente, para ajustar su extensión y permitir el desarrollo del bosque costero nativo a implantar.

4.10.4.2. Sector II - playa Balneario Municipal

En el Sector II -playa Balneario Municipal-, que también tiene algún servicio (parador y servicios higiénicos), se podrá avanzar con líneas de trabajo similares a las planteadas para el anterior.

Se trata de un sector que actualmente cuenta con una playa arenosa de no muy amplio ancho, que se expandirá. La sustitución de especies exóticas con la implantación de bosque nativo y vegetación psamófila, se acompañará con la restitución de dunas por cercas captoras.

La coincidencia de la parada de ómnibus con cruce peatonal en el empalme de la calle Benjamín Mantón lleva a proponer la instalación, en esa ubicación, de una pasarela peatonal de madera sobre pilotis para acceder a la playa arenosa por encima del sistema dunar.

Allí también se encuentra una batería de baños públicos y un parador, al que hoy se accede vehicularmente. Se entiende necesario reducir las áreas pavimentadas, por lo cual deberá alejarse algo el acceso de vehículos y formalizar una playa de estacionamiento delimitada y próxima a la calzada de la Rambla.

Deberá eliminarse, asimismo, la circulación de vehículos por la calzada precaria que hoy existe, innecesariamente, paralela a la calzada de la Rambla. Debe acompañarse con la

reducción del número actual de accesos (más de 10 en el tramo) y sustituirse por algún estacionamiento formalizado (dos, por ejemplo: coincidentes con las calles Francisco Acuña de Figueroa y Florencio Sánchez).

4.10.4.3. Sector III - playa Oreja de Negro

El Sector III -playa Oreja de Negro- es más abierto y en él se encuentra el mirador de madera, en el eje de la calle José Enrique Rodó, cuyas visuales deberán cuidarse al incorporar nueva vegetación de porte, planteada por contar con mayor área arenosa, que se propone consolidar.

Se trata de un sector de playas fuertemente fraccionadas y de pequeña superficie, que sufrirá el más importante cambio del cordón de playas, con un notorio ensanche de la superficie de dunas arenosas. Allí se permitirá la implantación de bosque nativo y vegetación psamófila, la que se acompañará con la restitución de dunas por cercas captoras.

Esta nueva situación permitirá proyectar la incorporación de equipamientos y mobiliario urbano, hoy inexistente, que se propone sea localizado en el tramo de la Rambla con calles con nombre de pintores: entre Pedro Figari, Joaquín Torres García y Pedro Blanes Viale.

En dos zonas se plantea la construcción de una pasarela de madera sobre pilotis a efectos de salvar el cruce del área dunar que se reconstruirá. Una entre los empalmes con la Rambla de las calles Eduardo Fabini y Paul Harris, ambas con cruce peatonal, y otra en las proximidades de la calle Juan Manuel Blanes, donde existe parada de ómnibus.

El estacionamiento vehicular en este sector está solucionado mediante dársenas en el costado de la calzada vehicular de la Rambla, para estacionamiento “de punta”, lo que evita la penetración de vehículos en la faja costera.

4.10.4.4. Sector IV - playas El Álamo y Las Delicias

En el Sector IV -playa El Álamo- existe una calzada inferior, cuyo extremo norte comparte con el sector anterior, paralela a la Rambla, junto con servicios de larga data (parador, beach bar, etc.). La recuperación de amplia área de dunas arenosas aporta significativamente a la restitución de la playa más próxima al sector urbano denso y la más asociada a la memoria social.

Deberá analizarse la pertinencia de incorporar una pasarela de madera sobre pilotis para sortear el cordón dunar y acceder a la playa desde la calzada vehicular inferior, que podría

estar localizada a la altura de la calle Eugenio Araus, donde se encuentra una parada de ómnibus y existe cruce peatonal.

En la gestión de la calzada vehicular alternativa, paralela a la Rambla, debe tenerse especial cuidado con el control del desborde fuera de los límites pavimentados y las áreas de estacionamiento que se debieran delimitar.

Todas las posibles incorporaciones de equipamientos y mobiliario urbano, se realizarán asociados con el núcleo de servicios hoy existente.

En este Sector IV queda comprendida también la denominada playa Las Delicias, que es actualmente un humedal costero, ampliamente colonizado por juncuales. En éste se plantea el manejo responsable como área de conservación del ecosistema.

Para este tramo se plantea una intervención que sustituya el actual sendero precario por una pasarela de madera sobre pilotes, entre el extremo sur de la playa El Álamo y la explanada de estacionamiento del Estadio Alberto Suppici, que se deberá formalizar y delimitar. La pasarela podría tener accesos a la zona de playa en la zona norte y un espacio de mirador en la zona de humedal como espacio de interpretación ambiental, con el objetivo de jerarquizar el juncal. A su vez, se sugiere realizar una adecuación del estacionamiento del Estadio que permita una mayor infiltración de las pluviales y su laminación.

4.10.5. ASPECTOS ECOSISTÉMICOS DE CADA TRAMO

Las NbS han adquirido una importancia cada vez mayor para abordar los desafíos de la fragmentación de ambientes, la consecuente pérdida de servicios ecosistémicos y la variabilidad y el cambio climático²⁰.

Según la definición de PNUMA (2022)²¹, las NbS son las acciones de proteger, conservar, restaurar, utilizar y gestionar de forma sostenible los ecosistemas terrestres naturales o modificados.

²⁰ 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.

²¹ 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.

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 NbS en Uruguay ha tenido varios ejemplos exitosos de intervención enmarcadas en proyectos de adaptación basada en ecosistemas (AbE). Gran parte de ellos liderados por el actual Ministerio de Ambiente (ex MVOTMA)²² y la Oficina de Planeamiento y Presupuesto²³ 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).

En el marco de las acciones desarrolladas con Intendencia Departamental de Colonia, Municipio de Juan Lacaze a partir de 2013, se constató la buena respuesta del ecosistema dunar a las actividades de restauración mediante cercas captoras de arena. También fue un resultado importante, constatar el efecto de sombreado casi permanente de la playa por parte de eucaliptus de gran porte (15 metros o más) que hace desaparecer las herbáceas dunares, debido a la falta de radiación solar, especialmente en los casos de Santa Ana (playas al este de Colonia del Sacramento) y Real de San Carlos, tramo de playa que forma parte del extremo norte de la presente intervención.

Básicamente las medidas NbS identificadas en el marco de la consultoría involucran a los ecosistemas costeros presentes en el área: juncales (*juncus* sp), cordones dunares (tapizados predominantemente por *panicum* sp), bosque costero nativo. En general estos 3 tipos de ecosistemas proveen, a nivel costero servicios de regulación, 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 y revegetación con flora nativa a nivel del

²² Proyecto: Implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático en áreas costeras del Uruguay (PNUD-GEF URU/07/2013).

²³ 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.

bosque costero, matorral psamófilo, y monte fluvial. Todo esto como parte integral de un proceso de manejo ecosistémico adaptativo orientado a una mayor resiliencia de la zona costera de las playas al oeste de la capital del departamento.

MEDIDA NbS y ECOSISTEMA ASOCIADO	SERVICIOS ECOSISTÉMICOS DE REGULACIÓN
CERCA CAPTORA DE REGENERACIÓN DUNAR	Amortiguación del oleaje / Control de erosión
ACONDICIONAMIENTO ECOSISTEMA LITORAL (JUNCAL)	Amortiguación oleaje / Infiltración y depuración de pluviales / Control de erosión
ADECUACIÓN DEL BOSQUE COSTERO NATIVO	Gestión Riesgo / Mitigar impacto sombreado sobre ecosistema dunar/ Evitar fuga de arena hacia la zona urbana

Tabla 4-15 Medida NbS y Ecosistema asociado

Las acciones sobre los ecosistemas descritos, en todo momento, persiguen la sustitución de especies exóticas por especies nativas. En el caso de la adecuación del bosque costero nativo especialmente, se busca evitar los impactos negativos sobre el ecosistema dunar y mejorar la resiliencia del parqueizado del borde costero ante eventos de fuertes vientos. Este proceso fue iniciado en acciones realizadas entre el Ministerio de Ambiente y la Intendencia Departamental de Colonia en 2013.

Todas las acciones NbS deberán ser acompañadas de un mantenimiento fuera del marco temporal del proyecto. Este mantenimiento será asimilable a actividades de mantenimiento de áreas verdes actualmente desarrollados por el gobierno departamental. Para el caso del bosque y parqueizado costero, se deberá prever la poda del arbolado y la sustitución de ejemplares en caso de que sea necesario (en caso de muerte de algún ejemplar). Para el caso de las cercas captoras se sugiere evaluar la necesidad de realizar cercas fuera de la ejecución del proyecto, en ese caso se plantea evaluar la posibilidad de utilizar la poda generada por los árboles del parqueizado costero o de otras zonas del arbolado público de Colonia. Esta actividad ya fue hecha por la intendencia en otras oportunidades con buenos resultados.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

Para el caso de los elementos de ecosistema litoral asociados a las descargas de drenaje pluvial o borde inferior del enrocado, se considera un mantenimiento similar al realizado para otras áreas verdes (corte de pasto y podas eventuales). Para el caso de los juncos ubicados contra los espigones, se plantea evaluar el proceso de recarga de arena que va a generar que no aumente la superficie de los mismos, hacia zonas donde hoy no están. Se considera que el mantenimiento podría realizarse también con un equipo de áreas verdes de la intendencia y de ser necesario con retroexcavadora, aunque se buscaría que con el resto de las medidas se pueda evitar este tipo de manejo.

4.10.5.1. Sectores I y II - playas Real de San Carlos y Balneario Municipal

Ecosistema dunar

Desde el punto de vista del ecosistema dunar, estas playas tendrán una importante recarga de arena que deberá ser mantenida a partir del fortalecimiento de la regeneración dunar con cercas y la implantación de especies de herbáceas dunares.

En una referencia preliminar, se apunta a tener del orden de 1.500 metros de playa con un ecosistema dunar recuperado en dicho tramo. Para eso y luego de la recarga prevista, se deberían realizar del orden de 2.000 metros lineales de cerca captora con diseño en peine (para capturar la arena que se moviliza por vientos de sur a norte). Y la plantación de hasta 5 hectáreas de herbáceas dunares para capitalizar la recarga artificial y el transporte eólico en este tramo de costa.

Ecosistema litoral

La sugerencia es adecuar las descargas pluviales existentes (6) y utilizar los juncales como contribución a la regulación del caudal y a la depuración de los desagües. Es importante destacar que las zonas de amortiguación de pluviales y parte de los espigones incluirán siempre elementos del ecosistema litoral: tanto especies hidrófitas palustres como Juncos, pajas bravas, sino que también incluirán especies arborescentes presentes en bordes de arroyos que descargan a la costa en el departamento como Curupí, Ceibo, Sarandí, entre otras.

Al pie del enrocado de espigones se incluye en el diseño la incorporación de especies litorales arborescentes que rematen la base del enrocado con los ajustes que se proponen para que el mismo no ceda antes eventos extremos de oleaje. Tales especies son las mismas que se

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

incluyen en la base de la barranca en la playa Las Delicias Sauce criolla (*Salix* sp.), Sarandí (*Phyllanthus* sp), Viraró (*Ruprechtia* sp.) Ceibo (*Erythrina* sp), entre otras. Se estima una superficie plantada del orden de 2.100m² delante de la zona del enrocado de defensa.

Bosque costero nativo

Hay 3 tramos de enrocado que en total superar los 700 metros lineales. En cada uno de estos tramos se considera la posibilidad de generar un relleno con tierra y compost que cubra completamente las rocas y a continuación plantarlo con especies nativas de bosque costero nativo.

La zona de bosque costero nativo que incluye los enrocados y las zonas arboladas existentes en este tramo de playa conocido como playa del Real o Real de San Carlos, supera las 7 hectáreas que deberán ser plantadas con árboles y arbustos nativos.

Ecosistema dunar	Cercas captoras	2.000 m lineales
	Plantaciones herbáceas	5 hectáreas
Ecosistema litoral	Plantación de arborescentes	2.100 m ²
Bosque costero nativo	Transición a especies nativas	7 hectáreas

Tabla 4-16 Medidas NbS para el Sectores I y II

4.10.5.1. Sector III - playa Oreja de Negro

Ecosistema dunar

Desde el punto de vista del ecosistema dunar, esta playa tendrá una importante recarga de arena que deberá ser mantenida a partir del fortalecimiento de la regeneración dunar con cercas y la implantación de especies de herbáceas dunares.

En una referencia preliminar, se apunta a tener del orden de 1.000 metros de playa seca con un ecosistema dunar funcional en dicho tramo. Para eso y luego de la recarga prevista, se deberían realizar del orden de 1.500 metros lineales de cerca captora con diseño en peine (para capturar la arena que se moviliza por vientos de sur a norte). Y la plantación de hasta

2 hectáreas de herbáceas dunares para capitalizar la recarga artificial y el transporte eólico en este tramo de costa.

Ecosistema litoral

La sugerencia es adecuar las descargas pluviales existentes (5) y utilizar los juncales como contribución a la regulación del caudal y a la depuración de los desagües. En la etapa de anteproyecto se diseñará un cuenco de infiltración, que será implantado con especies hidrófitas herbáceas y arborescentes (juncos, sarandí, otras).

Bosque costero nativo

En este tramo de playa hay 2,6 hectáreas de bosque costero nativo para las cuales se propone el proceso de sustitución por especies nativas.

Ecosistema dunar	Cercas captoras	1.000 m lineales
	Plantaciones herbáceas	2 hectáreas
Bosque costero Nativo	Transición a especies nativas	2.6 hectáreas

Tabla 4-17 Medidas NbS para el sector III

4.10.5.1. Sector IV - playas el Álamo y Las Delicias

Ecosistema dunar – playa el Álamo

En cuanto al ecosistema dunar, se recomienda el fortalecimiento del tramo de dunas ya existente a partir de la plantación de especies dunares y confección de cercas captoras.

Además, con la recarga prevista se prevé que la zona de playa seca avance de norte a sur sobre el juncal existente para ello también se considera la confección de cercas captoras y la implantación de herbáceas dunares.

En una referencia preliminar, se apunta a tener del orden de 300 metros de playa seca con un ecosistema dunar funcional en dicho tramo. Para eso y luego de la recarga prevista, se deberían realizar del orden de 500 metros lineales de cerca captora con diseño en peine (para capturar la arena que se moviliza por vientos de sur a norte). Y la plantación de hasta 4.500

m2 de herbáceas dunares para capitalizar la recarga artificial y el transporte eólico en este tramo de costa.

Ecosistema litoral – playa el Álamo

La sugerencia es adecuar las descargas pluviales existentes (1) y utilizar los juncales como contribución a la regulación del caudal y a la depuración de los desagües. En la etapa de anteproyecto se diseñará un cuenco de infiltración, que será implantado con especies hidrófitas herbáceas y arborescentes (juncos, sarandí, otras).

Bosque costero nativo – playa el Álamo

En este tramo de playa hay dos estratos de bosque costero nativo, uno sobre la rambla y otro debajo del camino de acceso al parador. En total representan una superficie de 0.8 hectáreas para las cuales se propone el proceso de sustitución por especies nativas.

Ecosistema dunar	Cercas captoras	500 m lineales
	Plantaciones herbáceas	4.500 m ²
Bosque costero nativo	Transición a especies nativas	0.8 hectáreas

Tabla 4-18 Medidas NbS para playa El Álamo – Sector IV

La playa las Delicias, que está actualmente ampliamente colonizada por juncales. En los últimos 130 metros (aprox) hacia el extremo norte delimitado por un espigón preexistente (que se prevé su remoción) presentan una zona de playa seca. Esta playa es un vestigio de la playa Las Delicias, la cual representa una referencia histórica para los pobladores de Colonia del Sacramento, siendo la playa más utilizada por la comunidad local.

Además de la recarga de arena prevista, y la remoción del espigón en este tramo de costa, se define la revegetación con herbáceas dunares, la construcción de un dispositivo de laminación incluyendo la plantación de especies vegetales hidrófilas (juncos y arborescentes), el manejo del bosque costero nativo sustituyendo exóticas por nativas de follaje caduco para estimular el proceso de restauración dunar.

Ecosistema dunar - playa Las Delicias

En cuanto al ecosistema dunar, se recomienda el fortalecimiento del tramo de dunas ya existente a partir de la plantación de especies dunares y confección de cercas captoras.

Además, con la recarga prevista se prevé que la zona de playa seca avance de norte a sur sobre el juncal existente para ello también se considera la confección de cercas captoras y la implantación de herbáceas dunares.

En una referencia preliminar, se apunta a tener más de 300 metros de playa seca con un ecosistema dunar funcional en dicho tramo. Para eso y luego de la recarga prevista, se deberían realizar del orden de 500 metros lineales de cerca captora con diseño en peine (para capturar la arena que se moviliza por vientos de sur a norte). Y la plantación de 1.500 m² de herbáceas dunares para capitalizar la recarga artificial y el transporte eólico en este tramo de costa.

Ecosistema litoral - playa Las Delicias

La zona de juncal, hoy ayuda en la disipación de la energía del oleaje y a su vez ralentiza el caudal del desagüe pluvial que descarga en esta zona de playa. La sugerencia es adecuar las descargas pluviales existentes (1) y utilizar los juncos como contribución a la regulación del caudal y a la depuración de los desagües. En la etapa de anteproyecto se diseñará un cuenco de infiltración, que será implantado con especies hidrófitas herbáceas y arborescentes (juncos, sarandí, otras).

Es de destacar que el tramo dominado actualmente por juncos se considera de especial interés para la avifauna y para la observación de aves por parte de vecinos de la ciudad de Colonia.

Para la zona del juncal se sugiere su jerarquización a partir de una pasarela y eventual mirador que recorra su extensión y conecte el estacionamiento del Estadio Alberto Supicci con el acceso en la zona norte de la playa Las Delicias.

Para el borde superior del juncal y contra la barranca se sugiere la plantación de especies arborescentes de bosques fluviales, algunas especies posibles: Sauce criolla (*Salix* sp.), Sarandí (*Phyllanthus* sp), Viraró (*Ruprechtia* sp.) Ceibo (*Erythrina* sp).

Bosque costero nativo - playa Las Delicias

Actualmente delimita la playa Las Delicias un bosque costero nativo lineal de aproximadamente 1 hectárea. La gran mayoría de estos árboles son especies exóticas, algunas con comportamiento invasivo.

Se considera pertinente realizar un rediseño del parquizado costero hacia especies nativas presentes en los bosques litorales y psamófilos de la zona. El proceso de sustitución de las especies actuales debería ser un proceso gradual, permitiendo la reutilización de la biomasa en los procesos de reconstrucción dunar a partir de cercas captoras.

Ecosistema dunar	Cercas captoras	500 m lineales
	Plantaciones herbáceas	1.500 m ²
Ecosistema litoral	Plantación de arborescentes	1.500 m ²
Bosque costero nativo	Transición a especies nativas	1 hectárea

Tabla 4-19 Medidas NbS para playa Las Delicias – Sector IV

4.10.6. ESTRATEGIA DE LARGO PLAZO, PARQUES RESILIENTES, AGUA, ARBOLADO, LUMINARIA, INFRAESTRUCTURA VIAL

Para la instrumentación de los lineamientos generales y las propuestas particulares de proyecto y gestión para cada uno de los cuatro tramos resultantes de la nueva conformación del arco costero, se deben tener en cuenta algunos hitos y puntos clave a que deben sujetarse aspectos del diseño concreto.

Hitos o puntos clave:

- paradas de ómnibus, que, aunque se pueden desplazar de lugar, constituyen un claro punto de concentración de personas y de acceso al espacio costero;
- cruces peatonales (cebras), corresponde la misma consideración: constituyen puntos de acceso al espacio costero;
- mirador existente playa Oreja de Negro (en eje de calle J. E. Rodó), hito de interés en la faja costera;

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

- equipamientos y mobiliario urbano (baños públicos, fogones, juegos, estaciones aeróbicas), atractivos para la concurrencia de personas y puntos de concentración de asistencia en playas, suelen asociarse a necesidades de estacionamiento vehicular (bicicletas, automóviles);
- paradores, atractores de público, deben contar con facilidades próximas de estacionamiento vehicular;
- estacionamientos formales sobre la calzada de la rambla, diseñados para estacionamiento de vehículos “de punta”, con las complicaciones que asocia respecto al tránsito por la calzada de la Rambla;
- estacionamientos informales con acceso previsto desde la calzada de la rambla; se plantea la necesidad de proceder a su formalización y clara delimitación, en función de la conservación ecosistémica del área costera (lo que puede llevar a proponer la eliminación de alguno de ellos).

4.10.1. ASPECTOS ECONÓMICOS

Se realiza una estimación de costos preliminar considerando los principales componentes de la alternativa propuesta. Es importante destacar que el diseño de la alternativa es a nivel de diseño conceptual, por lo tanto, el presupuesto estimado puede variar a medida que se avance en el proyecto y se realice un diseño más detallado de las diferentes componentes (rubros).

RUBRO	DETALLE	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Pesos uruguayos	PRECIO SUBRUBRO Pesos uruguayos
1 ESPIGONES					
1.1	Suministro y construcción de espigones	985.0	ml	253,500	249,697,500
1.2	Retiro de espigones existentes	14.0	uni	405,600	5,678,400
2 REVESTIMIENTOS DE ROCA					
2.1	Suministro y colocación revestimiento de roca nuevo	100.0	ml	14,625	1,462,500
2.2	Suministro y colocación enrocado de protección de pie	1,430.0	ml	23,400	33,462,000
3 RECONSTRUCCIÓN DE ECOSISTEMAS					
3.1	Suministro y colocación de relleno de arena	67,000.0	m3	1,170	78,390,000
3.2	Ecosistema dunar - Cerca captoras	4,000.0	ml	3,000	12,000,000
3.3	Ecosistema dunar - Plantaciones herbáceas	76,000.0	m2	500	38,000,000
3.4	Ecosistema litoral - Plantación de arborescentes	3,600.0	ml	1,000	3,600,000
3.5	Bosque - Transición a especies nativas	114,000.0	m2	800	91,200,000
3.6	Monitoreo	3.0	Global	195,000	585,000
4 ACONDICIONAMIENTO URBANO Y PAISAJISTICO TENIENDO EN CUENTA ASPECTOS DE GÉNERO					
4.1	Pasarela Playa Las Delicias	675.0	ml	8,400	5,670,000
4.2	Acceso a playa	500.0	ml	6,600	3,300,000
5 DESCARGAS PLUVIALES					
5.1	Reacondicionamiento de descarga pluvial - Cuenca mayor a 50 ha	2.0	Unidad	12,870,000	25,740,000
5.2	Reacondicionamiento de descarga pluvial - Cuenca menor a 50 ha	15.0	Unidad	2,730,000	40,950,000

NOTAS	SUBTOTAL SIN LEYES		589,735,400
Este rubrado considera la alternativa donde se propone reforzar los revestimiento de roca actuales con una protección en enrocado de pie	IMPREVISTOS	10%	58,973,540
	TOTAL SIN LEYES		648,708,940
Precio de oficina en pesos uruguayos	LEYES	14%	90,819,252
Se suponen solo un 10% de imprevistos	IVA	22%	129,741,788
Se presenta el total con leyes pero SIN iva	TOTAL CON LEYES S/IVA		739,528,192

Tabla 4-20 Presupuesto de oficina preliminar de la alternativa propuesta a nivel conceptual

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

4.10.2. CONSIDERACIONES GENERALES A NIVEL DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

En el presente apartado se plantean aspectos del ordenamiento territorial actual de la zona costera de Colonia del Sacramento objeto del estudio de la consultoría, así como sobre el proyecto de Plan Local de Ordenamiento Territorial en proceso de elaboración, para presentar algunas disposiciones, desde este punto de vista, que aportarían al enfrentamiento integrado de los problemas actuales y previsibles de drenaje pluvial, inundación y erosión costera.

4.10.2.1. Modelo territorial

Con el objeto de esbozar el encuadre conceptual, corresponde subrayar los contenidos del Decreto Departamental de Directrices Departamentales de Ordenamiento Territorial y Desarrollo Sostenible (de 2013 y modificativos en 2014, 2015 y 2016), que constituyen el marco normativo, vigente y aplicable, para el ámbito considerado, cuyo modelo territorial resulta pertinente a efectos de la problemática analizada. Es en aplicación de sus disposiciones es que se realizan las propuestas normativas. Sus principales definiciones al respecto, se transcriben seguidamente.

- Principios de ordenamiento territorial, desarrollo sostenible, medio ambiente, urbanismo y paisajismo (artículo 2)
 - a) El uso sostenible de los recursos naturales, la salva guarda de la biodiversidad y ecosistemas frágiles, cumpliendo con el deber fundamental de propiciar un Modelo de Desarrollo Ambientalmente Sostenible (artículo 4º ley 17.283 de 28 de noviembre del año 2000) y de bajo carbono.
 - b) La protección del patrimonio del Departamento en su sentido más amplio, natural, paisajístico, histórico, arqueológico y arquitectónico.
 - h) Proteger y preservar el medio ambiente para alcanzar un desarrollo sostenible, siendo una responsabilidad de todos quienes participan, ya sea de una forma directa o indirecta, en todos los procesos de transformación.
- Objetivos de las Directrices (artículo 3)
 - a. Orientar el desarrollo de las funciones más relevantes, residenciales, portuarias, logísticas, industriales y turísticas, a los efectos de una mejor organización del uso del territorio

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

generando pautas de localización y adecuando las diferentes demandas legítimas de uso del espacio de las personas físicas o jurídicas, públicas y privadas.

b. Plantear como objetivo cultural, social y económico del Departamento de Colonia la conservación del alto grado de naturalidad de su ribera, conciliando las exigencias de desarrollo con los imperativos de protección.

d. Proteger el medio ambiente mediante la creación y conservación de los espacios verdes y valorización del patrimonio natural y cultural calificando el paisaje urbano y rural.

e. Promover el uso sostenible y democrático de los recursos naturales, a modo de garantizar la biodiversidad.

f. Prohibir la existencia de situaciones urbanas que atenten contra el medio ambiente, en particular la urbanización de zonas inundables o de lento drenaje natural, que contravengan explícitamente informes o estudios técnicos.

También, por el artículo 11, establece una directriz específica sobre la faja costera. Allí dispone que “se adoptarán medidas precautorias frente a eventuales o futuros daños ambientales que puedan afectar la faja costera del Departamento, teniendo en cuenta un manejo costero integrado”.

Estas determinaciones vinieron a confirmar y profundizar los contenidos de la Ordenanza Territorial del Departamento (Decreto de 1997 y modificativos en 2001 y 2004).

A su vez, estos lineamientos son reafirmados por los Objetivos generales del Plan Local en elaboración para Colonia del Sacramento y en otros de sus contenidos.

Con lo descrito resulta verificado que los principios, objetivos y lineamientos generales de la legislación departamental actual no requieren modificación y/o ampliación a efectos de contemplar las necesidades de atención para la implementación de las medidas de adaptación que se analizan.

4.10.2.2. Zonificación

Las Directrices Departamentales solamente establecen una zonificación muy primaria cuando disponen la categorización de suelo. El área considerada es así de categoría de suelo urbano en la cartografía y por el artículo 34 del Decreto.

Por su parte, la Ordenanza Territorial del Departamento, avanza algo y distingue dos subzonas que difieren en el área y frente mínimo de los padrones para su fraccionamiento, aunque fijan el factor de ocupación de suelo máximo (FOS) en 70% para ambas.

Es en el proyecto de Plan Local de Ordenamiento Territorial, que se encuentra en elaboración, donde se debieran incorporar disposiciones que atiendan las necesidades de medidas de adaptación.

Debieran considerarse ajustes en las zonas ZR5, ZR8, ZR11, ZR12, ZR15 y ZR16, particularmente en cuanto a los parámetros de ocupación de suelo y en las normativas para la edificación, como se analiza seguidamente.

4.10.2.3. Parámetros de ocupación del suelo

Como se expresó anteriormente, para las zonas reglamentadas costeras el proyecto de Plan establece parámetros de ocupación de suelo. En el caso de las zonas ZR8, ZR11 y ZR12, distingue subzonas, que establecen diferencias en el frente mínimo de predio, factor de ocupación total (FOT) o altura, no así respecto al factor de ocupación de suelo (FOS) que es uniforme para el interior de cada zona.

En ningún caso se establece parámetro alguno respecto a la conservación de la permeabilidad en una parte de la superficie del predio.

La impermeabilización de suelo genera un aumento de la escorrentía, y constituye uno de los principales factores que dificultan la gestión del drenaje urbano, muy especialmente en los eventos extremos de precipitación.

Avanzar en medidas y acciones que logren reducir las superficies impermeables y asegurar que existan, en el futuro, aumentos significativos en éstas, es uno de los desafíos del ordenamiento territorial para el ámbito que se estudia.

Es con ese objetivo que se sugiere incorporar a la normativa departamental de Colonia, un nuevo factor de ocupación de suelo: Factor de suelo verde (FSV), definido como: el cociente que resulta de dividir el área de suelo con cobertura verde, permeable, por el área total del predio (expresado en porcentaje).

Se trata de una novedad normativa que busca reducir al mínimo posible la generación de suelo impermeable, lo que: “trata de priorizar, en la medida de lo posible, las medidas de control que favorecen la infiltración” (Manual de Diseño de Sistemas de Aguas Pluviales Urbanas,

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

DINAGUA, 2009). Al mismo tiempo, apunta al sostenimiento del paisaje con fuerte presencia vegetal, reduciendo el impacto de actuaciones antrópicas distorsivas de éste.

Esta limitación de FOS y FOT no establece un factor máximo de impermeabilización del suelo, con lo que la día de hoy, la normativa permitiría la impermeabilización de la totalidad del padrón, lo que tiene un impacto desfavorable en el escurrimiento pluvial, aumentando no sólo la escorrentía sino las velocidades del flujo.

Seguidamente se avanza en una propuesta para la incorporación del parámetro FSV a la normativa de ocupación de suelo contenida en el proyecto de Plan que se encuentra en elaboración.

Zona	Categoría de suelo	Área mín. m ²	Frente m	FOS máx. %	FOT máx. %	FSV mín. %	Altura m
ZR5	Urbano	500	20	70	210	25	9
ZR8a	Urbano	300	10	70	140	25	9
ZR8b	Urbano	300	10	60	140	30	15
ZR11a	Urbano	500	12	60	60	35	9
ZR11b	Urbano	500	16	60	60	30	9
ZR12a	Urbano	500	12	60	60	35	9
ZR12b	Urbano	500	16	60	60	30	9
ZR12c	Urbano	500	12	60	60	35	9
ZR15	Urbano	1.000	20	40	80	50	8,50
Z516	Urbano	Es de aplicación lo establecido en el Reglamento de Copropiedad				50	Reglam. Coprop.

Tabla 4-21 Parámetros Urbanísticos - Área de Playa de Colonia de Sacramento. Fuente: Elaboración propia sobre Fichas normativas (artículo 18ª) del Proyecto de Plan Local. Las columnas referidas al FOS y FOT mantienen los porcentajes establecidos en el Proyecto

Como es posible verificar en el cuadro adjunto, la escala de valores de FSV refiere directamente a los valores de FOS vigentes, los que no se propone modificar. El objeto es reducir el porcentaje de suelo máximo posible de impermeabilizar.

También se entiende oportuno que se establezca la protección para las escorrentías naturales y su flora asociada. Es por ello se sugiere incorporar el texto un condicionamiento para la

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

aplicación de los factores de ocupación, exigiendo que se dejen libres de cualquier afectación a estas zonas de escorrentía natural y su flora asociada, en los predios privados, a efectos de su preservación. Este aspecto apunta a la preservación de zonas de humedales existentes actualmente por su valor ecosistémico y su participación en el drenaje, que se sugieren mantener.

En los casos en los cuales se exceda este porcentaje, por razones fundadas, se deberán efectuar las obras necesarias que aseguren caudales similares de salida, según lo que se dispone en la reglamentación específica.

También debiera profundizarse en la adopción de alternativas de sistemas de control de drenaje a nivel de los padrones. En particular se debiera evaluar la posible aplicación de pavimentos permeables, barriles de lluvia y zanjas filtrantes, especialmente en los casos de que se pretenda superar los valores de FSV establecidos.

4.10.2.4. Normas para la edificación

En consideración del sistema del drenaje pluvial, las normativas de edificación, en general se entienden adecuadas, ya que no inciden en su funcionamiento. Sin embargo, se reconocen temáticas para las cuales la realidad observada, exclusivamente respecto a las condiciones de drenaje pluvial, lleva a sugerir incorporaciones a la normativa actualmente vigente.

Atendiendo a las condiciones verificadas de inundabilidad actual y las previsiones fundadas de su comportamiento en el futuro, se entiende necesario implementar disposiciones para la edificación, a efectos de garantizar un adecuado nivel de seguridad en el uso del suelo urbano, según se trate de nuevas construcciones para emprendimientos privados o públicos, de edificaciones ya existentes sobre las que se prevea actuar o incluso en el caso de aquellas en los que no proyecte ningún tipo de transformación.

Para ello se propone incorporar a la normativa departamental de Colonia la denominada Cota de Bajo Riesgo. Para ello se plantea considerar la Cota de Bajo Riesgo, en aplicación del artículo 22 de la Ley 19.525, como el nivel de más 50 centímetros respecto a la cota de inundación con período de retorno igual a 100 años (TR100).

Así, toda nueva edificación que se construya deberá necesariamente respetar una cota mínima de piso terminado para la planta principal de acceso a ella (Planta Baja), que será mayor de la denominada Cota Bajo Riesgo. Se propone establecer como Cota de Bajo Riesgo el valor + 4,40 referido al cero Oficial.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

Esta determinación es de aplicación para toda edificación para la que se proyecte una modificación.

Quedan sometidos a las disposiciones de la presente propuesta normativa los predios con números de Padrón: 1612, 2406, 3010, 3011, 3195, 3196, 3197, 3198, 3220, 3244, 3245, 3246, 3287, 5158, 5161, 5163, 5165, 5166, 5168, 5456, 5457, 6038, 6624, 6625, 6818, 7630, 7631, 9029, 9880, 9881, 9882, 9883, 9885, 9886, 9887, 9888, 9889, 9929, 9931, 9932, 9934, 9939, 9940, 9941, 9942, 9969, 9970, 9971, 9972, 9973, 9974, 10008, 10009, 10010, 10253, 10254, 10265, 10273, 10274, 10276, 10278, 10279, 10280, 10281, 10282, 10283, 10284, 10285, 10286, 10287, 10288, 10289, 10290, 10291, 10292, 10293, 10294, 10296, 10297, 10299, 10308, 10319, 10323, 10324, 10325, 10326, 10327, 11174, 13431 y 13578.

Deberán establecerse condiciones y recomendaciones para las circulaciones entre el espacio público y la planta principal de acceso a las edificaciones, tanto para los peatones como para los vehículos, de forma que se logre la menor inundabilidad posible en la mayor parte de su extensión.

Será necesario regular las construcciones por debajo de la Cota de Bajo Riego, en particular fijando condiciones para que su acceso sea exclusivamente desde un nivel por encima de la Cota de Bajo Riesgo y que presenten resistencia a la acción de la inundación. También deberán incorporarse normas para las instalaciones sanitarias internas, asegurando la no contaminación en caso de inundación.

En particular, los desagües de las del agua de origen pluvial del interior del predio, deberán contar con proyecto específico aprobado por la Intendencia. Cuando la superficie de captación se encuentre en un nivel inferior de la Cota de Bajo Riesgo, la evacuación por gravedad deberá diferirse en el tiempo o bien realizarse por bombeo.

Con similar objeto, resultaría oportuno profundizar en disposiciones para condicionar y limitar las modificaciones de relieve en el interior de los predios privados, especialmente cuando los niveles naturales se encuentren por debajo del nivel del espacio público.

Estas modificaciones de relieve debieran reducirse a permitir la modificación de los niveles naturales cuando resulten imprescindibles para la conformación de pequeños sectores planos o para facilitar los desagües, siempre sin afectar la configuración esencial del terreno, por lo que, en ningún caso, deben admitirse rellenos generales.

Esto ya que los rellenos, en la mayoría de los casos, conducen a un resultado de aumento de la impermeabilidad y reducción del aporte a la laminación, lo que aumenta la escorrentía, afectando el manejo del drenaje urbano. Además, los puntos bajos y las escorrentías naturales, constituyen contribuciones de singular importancia para la gestión del drenaje pluvial, por sus efectos de infiltración y laminación natural.

Debe tenerse en cuenta que existen numerosos ejemplos de excelentes soluciones arquitectónicas con las edificaciones sobre pilotis, que simultáneamente aportan valores ambientales y contribuyen eficazmente al manejo del drenaje urbano, junto con su participación en la calidad del paisaje.

4.11. ANTEPROYECTO ETAPA 1

En base a las problemáticas y alternativas identificadas en etapa de diagnóstico y propuestas de solución, se selecciona una zona piloto del arco de playa (zona de estudio) en la cual se realiza el desarrollo del anteproyecto. La zona seleccionada corresponde al arco entre la avenida Nicolas Mihanovich y el espigón ubicado entre la calle Alejandro Otaegui y Enrique Hurtado (playa del Real de San Carlos). En la Figura 4-64 se puede observar la ubicación del tramo donde se desarrolla el anteproyecto.



Figura 4-64 Ubicación esquemática del tramo a desarrollar en el anteproyecto de Etapa 1

Este tramo fue seleccionado debido a que en la etapa de diagnóstico se identificó que el mismo es el que se encuentra con mayor afectación de los procesos erosivos, y donde se prevé una pérdida importante de área de playa en un escenario futuro de aumento de nivel de mar por cambio climático. A su vez, esta playa presenta un importante uso recreativo por parte de la población, con lo cual es de interés general la mejora de la calidad de la zona de playa.

En una primera etapa se desarrollan en este tramo las alternativas de obra dura, así como las intervenciones basadas en la naturaleza, la instalación de accesos a la costa y el acondicionamiento de los drenajes pluviales. A su vez, en la primera etapa de actuación se

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

implementan las medidas de acondicionamiento ecosistémico y de pluviales para toda la zona de estudio (arco completo).

Se establece que el tramo desarrollado corresponde a una primera etapa de actuación, en el marco de una estrategia de implementación de medidas adaptativas. En este sentido, se plantea la siguiente etapabilidad de las obras proyectadas:

Etapas 1

- Construcción de uno de los cuatro espigones (a ubicarse en el remate de la Av. Mihanovich);
- Retiro parcial del espigón existente ubicado entre las calles Alejandro Otaegui y Enrique Hurtado;
- Relleno de arena (playa Real de San Carlos);
- Reconstrucción de ecosistemas en todo el arco de estudio;
- Acondicionamiento de 10 de las descargas pluviales de todo el arco de estudio.

Etapas 2:

Monitoreo de las medidas implementadas en la Etapa 1

- Monitoreo de las medidas implementadas en la Etapa 1. En función de los resultados obtenidos se evaluará la necesidad de realizar una protección o refuerzo del pie de los enrocados de protección existentes. A su vez, se evaluará el funcionamiento del sistema en su nueva configuración y se verificará la viabilidad de implementación de las etapas futuras
- Monitoreo de la pérdida/ganancia de playa y posición de línea de costa en todo el arco de playa, para desencadenar la ejecución de nuevos rellenos (por tramos, según diseño conceptual), ya sea para cuando el área de playa se reduce a la actual (posible umbral) o cuando la rambla/infraestructura pasa a estar comprometida para Tr 100 (posible umbral).

Etapas futuras:

- Construcción de los restantes espigones
- Retiro de los espigones existentes, que compartimentan la playa
- Relleno de arena que permita obtener el área de playa deseado

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

En la Figura 4-65 se presenta un fotomontaje donde se compara la situación actual de la zona estudiada en etapa 1 con la situación al final de la obra proyectada.



Figura 4-65: Fotomontaje: comparación situación actual con situación al final de la obra.

4.11.1. ESPIGÓN Y RELLENO DE PLAYA

El espigón y el relleno de playa son elementos complementarios: el objetivo del relleno de playa es mantener un ecosistema playa-duna saludable que evite la pérdida de áreas de parque y playa en el horizonte de diseño; el objetivo del espigón es evitar la pérdida del relleno de playa por efecto del transporte litoral y reducir el déficit de arena del sistema.

4.11.1.1. Configuración en planta

La configuración en planta propuesta contempla:

- a) Un relleno de playa tal que se ganan aproximadamente 1,5 ha de playa seca (aprox. 35 m de avance de la línea de costa).
- b) Una acumulación esperable de arena por efecto del transporte litoral que implicaría la ganancia de hasta 1,5 ha adicionales de playa en el horizonte del proyecto (aprox. 35 m adicionales de avance de la línea de costa).
- c) Un espigón de cierre cuyo morro se ubica a aprox. 140 m de la línea de costa actual, equivalente a la distancia a la que se encontraría la profundidad de cierre considerando un avance de aprox. 70 m de la línea de costa (ver perfil de equilibrio en Figura 4-66 más abajo).

Tanto la normal a la línea de costa actual como la media de la potencia de oleaje en los nodos CC01 y CC02 tienen direcciones en el rango 180°N a 190°N, por lo que se asume que la orientación de la línea de costa una vez realizado el relleno será aproximadamente similar a la actual y no se descarta que la misma pueda rotar en sentido antihorario hasta orientarse con normal al Sur. La configuración esperable de la línea de costa se definió utilizando la parábola de equilibrio estático. La Figura 4-66 presenta la configuración en planta propuesta.



Figura 4-66 Configuración en planta del conjunto espigón-relleno de playa propuesto.

4.11.1.2. Perfil tipo del relleno de arena

De análisis de las imágenes satelitales se ha identificado la existencia de bancos en la zona que podrían proporcionar el material necesario para el relleno de playa (ver Figura 4-67), por lo tanto en esta etapa se considera que la granulometría de la arena a utilizar en el relleno es similar a la de la playa existente, y que el relleno se realizará mediante el bombeo de una suspensión de agua y arena desde el banco hasta la playa.

Como regla preliminar, se podrá asumir que el sedimento de la zona de préstamo es similar al de la playa si su diámetro medio es $\pm 0,02$ mm el diámetro medio de la arena en la playa. Si el diámetro medio de la zona de préstamo es menor al de la playa en más de 0,02 mm, la playa resultante será más tendida que la actual y el volumen de arena requerido para el relleno podría incrementarse de forma significativa. Si en cambio el diámetro medio de la zona de préstamo excede al de la playa en más de 0,02 mm, la playa resultante tendrá pendientes más fuertes y el volumen requerido para un mismo ancho de playa será menor, aunque en este caso deberá evaluarse que la granulometría no resulte problemática a efectos del uso recreativo de la playa.



Figura 4-67 Posibles zonas de préstamo cercanas a la playa a rellenar.

Perfil objetivo

La información batimétrica y de perfiles de playa disponible no permite reconstruir el perfil activo sumergido de la playa, por lo que el perfil de playa objetivo se define combinando:

- 1) la cota de berma/pie de duna y la pendiente de la playa emergida que surge de los perfiles medidos en sitio para este proyecto, para la parte emergida del perfil, y
- 2) el perfil de equilibrio correspondiente al diámetro medio de la arena existente en la playa para la parte sumergida del perfil.

La cota de berma de la playa es aprox. +2,5 m Wh. Desde la cota de berma hasta el nivel medio del mar (+1,15 m Wh.) se asume pendiente uniforme igual a 5,4%. Desde el nivel medio del mar hasta la profundidad de cierre (-0,85 m Wh.) se asume el perfil de equilibrio para $D_{50}=0,25$ mm, dado por:

$$y=0,115x^{(2/3)} \quad (\text{Ec. 1})$$

en donde y es la profundidad respecto al nivel medio del mar y x es la progresiva medida desde la línea de costa correspondiente al nivel medio del mar.

Volumen a colocar en sitio y a extraer de la zona de préstamo

El volumen a colocar en sitio es de aproximadamente 54.000 m³, el cual se obtiene como la diferencia entre la topo-batimetría actual y la resultante de considerar el perfil objetivo en toda la zona de relleno de playa.

El volumen a extraer de la zona de préstamo es el volumen a colocar multiplicado por un factor de pérdidas que dependerá de la granulometría de la zona de préstamo y del método constructivo. En esta etapa el factor de pérdidas se asume 1,4 (resultando un volumen a extraer de 75.600 m³); este es un valor no muy conservador que deberá ser reevaluado durante el proyecto ejecutivo, una vez se conozca la granulometría de la zona de préstamo y el método constructivo. En particular, si la granulometría en la zona de préstamos es similar a la de la playa el factor de pérdidas podría reducirse al entorno de 1,1.

Procedimiento constructivo y perfil de relleno

Asumiendo que el material será dragado en bancos cercanos y bombeado hasta la playa, el procedimiento constructivo consistirá en la construcción de una pileta de descarga del material dragado, utilizando para esto el mismo material de la playa, en donde se depositará la arena para luego ser distribuida en la playa mediante equipos de movimiento de tierra (ver Figura 4-68).

El perfil de relleno objetivo a fin de obra no será el perfil de diseño, ya que este último se alcanzará en un período de algunos meses por efecto de los agentes marítimos. El perfil objetivo a fin de obra estará coronado a +2,5 m Wh. y tendrá una pendiente de playa en torno a 1:15, hasta alcanzar el perfil actual (ver ejemplo en Figura 4-69).

El procedimiento constructivo deberá evitar que exista segregación de los sedimentos por tamaño a lo largo de la playa (i.e. evitar zonas en que se acumule el sedimento grueso y zonas en que se acumule el sedimento fino).



Figura 4-68 Ejemplo de proceso constructivo de relleno de playas (tomado de <https://www.nps.gov/articles/beach-nourishment.htm>).

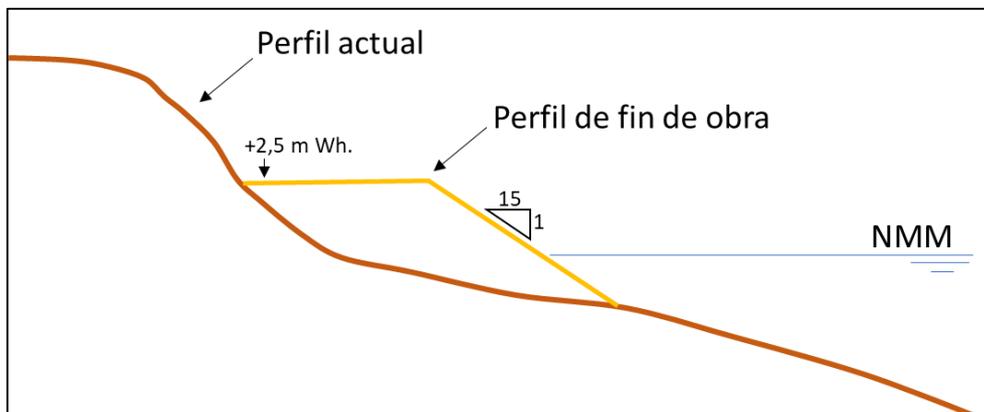


Figura 4-69 Esquema del perfil objetivo a fin de obra considerando que la granulometría en la zona de préstamos es similar a la de la playa.

Caudal de dragado

En función del volumen a extraer de la zona de préstamo (75.600 m^3), se realiza una estimación del caudal que deberá erogarse a la draga para poder movilizar la arena desde la zona de préstamo a la zona de relleno final. En etapa de proyecto ejecutivo se deberá determinar

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

con mayor exactitud el caudal de la draga, así como las restantes especificaciones del equipo a ser utilizado.

En este sentido, se realizan las siguientes consideraciones. Se estima que el tiempo total de la obra será de 6 meses, de los cuales el 50% de estos días serán días donde estén las condiciones dadas para realizar los trabajos de dragado. A su vez, se consideran 7 hrs efectivas de funcionamiento de la draga por día. Entonces, el tiempo total de dragado es de 630 hrs.

A su vez, el porcentaje de arena en el líquido bombeado será de entre 20% a 30%. Con lo cual, teniendo el volumen total de arena que se necesita, el volumen total a dragar es de entre 253.000 m³ a 380.000 m³ (para 20 y 30% de contenido de arena respectivamente).

Entonces de ambos cálculos resulta que el caudal de la draga se encuentra entre 170 l/s – 115 l/s. Con una tubería de 500 mm de diámetro.

4.11.1.3. Secciones tipo del espigón

Generalidades

Se considera para el diseño del espigón que el material utilizado para la construcción de las distintas capas será granito, cuya densidad se asume 2.600 kg/m³. La densidad y el resto de las características de la roca que se mencionan en este documento (intrínsecas, propias de la roca, y extrínsecas, asociadas al proceso de producción, traslado y construcción) deberán ser verificadas durante la etapa de diseño ejecutivo y, de ser necesario, el diseño del espigón deberá ajustarse acorde a las características del material y el proceso constructivo a usar en la ejecución de la obra.

El núcleo del espigón se corona a +1,6 m Wh. Y el ancho de coronación es 4 m. Estos se consideran cota y ancho de coronamiento mínimos necesarios para poder construir el espigón desde tierra: el nivel de mar supera esta cota únicamente el 20% del tiempo y, teniendo en cuenta el régimen medio de nivel y oleaje, se estima que esta cota permitirá una operatividad del proceso constructivo de al menos 70%. En cualquier caso, estas características deberán ser verificadas durante la etapa de proyecto ejecutivo teniendo en cuenta las capacidades y experiencia de la empresa constructora que ejecutará las obras.

El coronamiento del espigón se toma igual a +3,0 m Wh. Este nivel es algo superior a la cota de berma y pie de duna que surge de los relevamientos locales y coincide con el nivel de mar

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

de dos años de período de retorno aproximadamente. Esta cota de coronamiento es adecuada para que el espigón cumpla con su función de retención del transporte litoral y, además, se considera adecuada para ejecutar sobre el espigón un paseo peatonal, pero la misma podrá ser revisada durante el proyecto ejecutivo teniendo en cuenta consideraciones paisajísticas y patrimoniales.

Requisitos de diseño

Para la definición de los requisitos de diseño se utilizan las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM) de Puertos del Estado de España. En particular se recurre a la ROM 1.0-09 (Puertos del Estado, 2009) a fin de definir la vida útil y fiabilidad mínima del espigón.

Las figuras 2.2.33 y 2.2.34 de la ROM 1.0-09 (Puertos del Estado, 2009), las cuales se reproducen en la Figura 4-70 y la Figura 4-71 de este documento, muestran que para obras de regeneración y defensa de playas, los vida útil y la probabilidad de fallo máxima admisible asociada a ELU son 15 años y 20%, respectivamente, mientras que para obras de protección y defensa de márgenes estos requisitos son 15 a 50 años y 10%, con la vida útil dependiendo del monto de inversión inicial.

Teniendo en cuenta que existen pocos antecedentes a nivel nacional en cuanto a la construcción de obras litorales de esta magnitud, así como la importancia que la obra tendrá en la configuración de la playa de Colonia, se opta por considerar los siguientes requisitos de diseño:

Vida útil 25 años (igual al horizonte del proyecto).

Probabilidad de fallo máxima admisible 10%.

En lo que sigue las verificaciones de los modos de fallo del espigón se realizarán mediante técnicas relativamente simplificadas, basadas en métodos de Nivel I o semideterministas, para cuya aplicación se define una o más tormentas de diseño cuyo período de retorno sea coherente con los requisitos de probabilidad de fallo máxima admisible en la vida útil. Para esto se calcula el período de retorno del fallo asumiendo independencia entre años consecutivos:

$$Tr_{fallo} = \left[1 - (1 - p_f)^{\frac{1}{VU}} \right]^{-1} \quad (\text{Ec. 1})$$

De donde surge que para una vida útil de 25 años y una probabilidad de fallo máxima de 0,1, el período de retorno del fallo, el cual se asociará a las tormentas de diseño, es aprox. 250 años.

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA		ÍNDICE IRE ¹		VIDA ÚTIL MÍNIMA (V _m) ⁷ (años)	
ÁREAS PORTUARIAS	PUERTO COMERCIAL	Puertos abiertos a todo-tipo de tráficos	r ₃	Alto	50
		Puertos para tráficos especializados	r ₂ (r ₃) ¹	Medio (alto) ¹	25 (50) ¹
	PUERTO PESQUERO		r ₂	Medio	25
	PUERTO NAÚTICO-DEPORTIVO		r ₂	Medio	25
	INDUSTRIAL		r ₂ (r ₃) ¹	Medio (alto) ¹	25 (50) ¹
	MILITAR		r ₂ (r ₃) ²	Medio (alto) ²	25 (50) ²
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O DE MÁRGENES		r ₂ (r ₃) ³	Medio (alto) ³	25 (50) ³
	ÁREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ⁴		r ₃	Alto
PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		r ₂ (r ₃) ⁵	Medio (alto) ⁵	25 (50) ⁵	
PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		r ₁ (r ₃) ⁶	Bajo (alto) ⁵	15 (50) ⁷	
REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		r ₁	Bajo	15	

¹ El índice IRE se elevará a r₂ cuando el tráfico esté asociado con el suministro energético o con materia prima mineral estratégica y no se disponga de instalaciones alternativas adecuadas para su manipulación y/o almacenamiento.
² El índice IRE se elevará a r₃ cuando la instalación militar se considere esencial para la defensa nacional.
³ En obras de protección de rellenos o de defensa de márgenes se tomará un índice IRE igual al señalado para el área portuaria en que se localiza.
⁴ Se entienden como diques de defensa ante grandes inundaciones, aquellos que en caso de fallo podrían producir importantes inundaciones en el territorio.
⁵ El índice IRE se elevará a r₂ cuando la toma de agua o el punto de vertido esté asociado con el abastecimiento de agua para uso urbano o con la producción energética.
⁶ El índice IRE se elevará a r₃ cuando en su zona de acción se localicen edificaciones o instalaciones industriales.
⁷ Los índices inferiores a r₂ de la tabla se elevarán un grado por cada 30 M€ de coste de inversión inicial de la obra de abrigo.

Figura 4-70 Valores de IRE y vida útil mínima para distintas obras marítimas (figura 2.2.33 de la ROM 1.0-09).

TIPO DE ÁREA ABRIGADA O PROTEGIDA			ÍNDICE ISA		P_{fallu}	P_{falla}	
AREAS PORTUARIAS	COMERCIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique ¹	Mercancías peligrosas ²	s_3	Alto	0.01	0.07
			Pasajeros y Mercancías no peligrosas ¹	s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s_1	No significativo	0.20	0.20
	PESQUERO	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
	NÁUTICO-DEPORT.	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
	INDUSTRIAL	Con zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique ¹	Mercancías peligrosas ²	s_3	Alto	0.01	0.07
			Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0.10	0.10
		Sin zonas de almacenamiento u operación de mercancías o pasajeros adosadas al dique		s_1	No significativo	0.20	0.20
	MILITAR	Con zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique ¹		s_3	Alto	0.01	0.07
		Sin zonas de almacenamiento u operación adosadas al dique		s_1	No signif.	0.20	0.20
PROTECCIÓN ³	Con zonas de almacenamiento adosadas al dique ¹	Mercancías peligrosas ²	s_3	Alto	0.01	0.07	
		Mercancías no peligrosas	s_2	Bajo	0.10	0.10	
AREAS LITORALES	DEFENSA ANTE GRANDES INUNDACIONES ³		s_4	Muy alto	0.0001	0.07	
	PROTECCIÓN DE TOMA DE AGUA O PUNTO DE VERTIDO		s_2 (s_3) ⁴	Bajo (alto) ⁴	0.10 0.0001	0.10 0.07	
	PROTECCIÓN Y DEFENSA DE MÁRGENES		s_2 (s_4) ⁵	Bajo (muy alto) ⁵	0.10 0.0001	0.10 0.07	
	REGENERACIÓN Y DEFENSA DE PLAYAS		s_1	No signif.	0.20	0.20	
	PROTECCIÓN DE RELLENOS O MÁRGENES.						

Figura 4-71 Valores de ISA y probabilidad de fallo máxima admisible para distintas obras marítimas (figura 2.2.34 de la ROM 1.0-09).

Sección tipo, modos de fallo y verificación

Se considera una sección tipo con las siguientes características:

Implementación de medidas de adaptación en la zona costera de Uruguay en el marco del NAP Costas
 Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados
 Noviembre 2023

- taludes exterior e interior 1V:1,5H,
- coraza en dos capas de roca con peso medio W, subcapa en dos capas de roca con peso medio W/10 y núcleo de piedra partida menor a W/200,
- visto el tamaño de la obra, no se diferencia entre coraza exterior e interior y no se diferencia entre enrocado del pie y la coraza,
- paseo peatonal sobre el coronamiento, realizado in situ con hormigón y/o asfaltos.

Con estas consideraciones, el modo de fallo principal a considerar en esta etapa es la erosión del talud exterior. Se considera que el resto de los modos de fallo no aportan a la probabilidad de fallo de la obra; éstos se listan a continuación, indicando las razones consideradas para catalogarlos como modos de fallo no principales:

- Erosión de la coraza interior por rebase: se toma coraza interior igual a exterior.
- Erosión del pie: se toma enrocado del pie de igual a la coraza y se funda el pie a una profundidad igual a una altura de ola significativa de diseño por debajo del nivel de suelo.
- Pérdida de material del núcleo: la subcapa y el núcleo deberán verificar condiciones de filtro (a verificar en la etapa de proyecto ejecutivo, una vez identificada la cantera y definido el método constructivo).
- Rotura de paseo peatonal: la construcción deberá contemplar juntas para posibles asentamientos diferenciales, y se recomienda la ejecución de una capa de nivelación una vez se haya asentado la obra.

No se prevé que existan modos de fallo geotécnicos relevantes, pero se recomienda prever una campaña de cateos durante la etapa de proyecto ejecutivo, así como la verificación de los asentamientos esperables.

En esta etapa se asume que la coraza será colocada de forma aleatoria. La Figura 4-72 presenta un ejemplo de rocas colocadas de forma aleatoria. Debe tenerse en cuenta que la colocación de la roca de forma aleatoria no es equivalente a volcar el material; la colocación de la roca de forma aleatoria implica:

- las rocas son colocadas de a una, comenzando desde el pie y subiendo en el talud desde allí, avanzando con las dos capas de coraza al unísono,
- la coraza no debe soltarse desde más de 30 cm de altura y su colocación no debe afectar al talud de la subcapa,

- el equipo de construcción tiene capacidad de ajustar la posición de la roca y, de ser necesario, volver a levantarla y cambiarla de lugar.

En caso de que se considere viable, durante la fase de proyecto ejecutivo podrá considerarse la utilización del método de “colocación selectiva” (ver Figura 4-73), el cual permite obtener mayor estabilidad de la coraza mediante su colocación cuidadosa que asegure mayor trabazón entre las piezas.



Figura 4-72 Ejemplo de enrocado colocado de forma aleatoria (Figure VI-4-2 del Coastal Engineering Manual).



Figura 4-73 Ejemplo de enrocado colocado de forma selectiva (Figure VI-4-3 del Coastal Engineering Manual).

Tormenta de diseño

A efectos del prediseño del espigón se define una tormenta de diseño a partir de la serie de oleaje y nivel de mar en el punto CC02. Para ellos se selecciona la altura de ola significativa de 250 años de período de retorno, valores concomitantes de período y dirección y, teniendo en cuenta que existe fuerte dependencia entre el oleaje y el nivel de mar en la zona de Colonia, un nivel de mar de 100 años de período de retorno. Los valores resultantes se resumen en la tabla Figura 4-21

Hm0 (Tr 200 años)	2 m
Tm	6 s
Dm	190°
SL (Tr 100 años)	+4,2 m Wh.

Tabla 4-22 Valores correspondientes a la tormenta de diseño

Luego, este estado de mar es propagado hasta la estructura utilizando el modelo SWAN, obteniéndose la altura de ola significativa al pie de la estructura para dos secciones tipo: una más expuesta, en el tramo final del espigón, y una menos expuesta, orientada normal a la costa, en el tramo inicial del espigón. La Figura 4-74 presenta los resultados obtenidos: en la zona de mayor exposición el oleaje incidente tiene $Hm0=1,9$ m, mientras que en la zona de menor exposición tiene $Hm0=1,6$ m.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

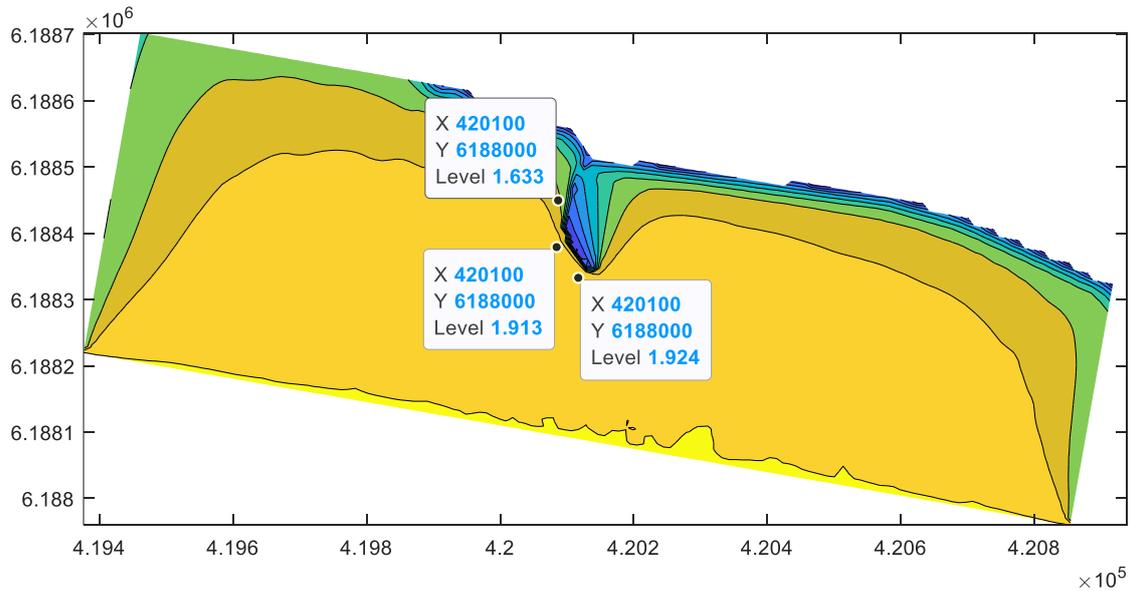


Figura 4-74 Resultado de la propagación del estado de mar definido para la tormenta de diseño.

Coraza, subcapa y núcleo

La definición del tamaño de las piezas de la coraza se realiza mediante las formulaciones de Hudson y de van der Meer, bajo las siguientes consideraciones:

<u>Hudson</u>	<u>Van der Meer</u>
Densidad del agua = 1000 kg/m ³ ; densidad de la roca = 2600 kg/m ³	
Talud 1V : 1,5V	
KD=2 para el tronco y KD=1.9 para el morro.	Porosidad nominal P=0,4
Se utiliza H = 1.27*Hm0	Número de olas = 7000
	Nivel de mar variando entre +3 m Wh y +4,5 m Wh.
	Cota del fondo entre -1 m Wh y -0,4 m Wh.

Tabla 4-23: Consideraciones tomadas para la definición del tamaño de coraza.

El tamaño de la subcapa y del núcleo se realiza a partir del tamaño de la coraza, considerando que, si el peso de las piezas de la coraza es W, el de la subcapa deberá ser W/10 y el del núcleo deberá estar en el rango W/200-W/4000.

En función de los resultados de estas verificaciones, se obtienen los siguientes tamaños de roca ara los distintos tramos del espigón:

Tramo	W50 coraza	W50 subcapa	W núcleo
Morro	3,2 ton	320 kg	1 kg – 15 kg
Tramo expuesto	3,0 ton	300 kg	1 kg – 15 kg
Tramo inicial	2,0 ton	200 kg	0,5 kg – 10 kg

Tabla 4-24: Tamaño de roca para cada tramo del espigón.

Se hace notar que:

- Estas formulaciones son válidas para la etapa de prediseño. **Para el diseño final (ejecutivo) de la obra se recomienda realizar ensayos de laboratorio a escala reducida para verificar la estabilidad de la coraza.**
- W50 es el valor de masa que es superado por el 50% de las piezas, medido en masa (i.e. el 50% de la masa de la coraza está en piezas con masa mayor a W50).
- Tanto la coraza como la subcapa se asumen con **granulometría estrecha**, tal que $D_{85}/D_{15} < 1,5$ (o M85/M15 en el rango 1,7 – 2,7).

4.11.2. RETIRO DE ESPIGÓN EXISTENTE

El espigón señalado en la Figura 4-75 no está cumpliendo una función relevante en cuanto a lograr una playa útil para uso recreativo, por lo que se propone su desmantelamiento parcial. Se prevé que este desmantelamiento parcial liberará parte de los sedimentos acumulados en el perfil sumergido, lo cuales serán transportados por corriente litoral y aportarán a la acumulación de arena en el tramo norte del arco de playa, contra el nuevo espigón a construir.

Para evitar la pérdida inmediata de la pequeña playa ubicada al Este del espigón y el descenso del perfil al pie de los revestimientos de roca, se recomienda retirar únicamente los 80 m finales del espigón, correspondientes al tramo recto comprendido desde el morro hasta el cambio de alineación (ver Figura 4-76).



Figura 4-75 Localización del espigón a retirar de forma parcial.



Figura 4-76 Tramo del espigón a retirar.

4.11.3. RESPECTO AL PIE DE LOS REVESTIMIENTOS EXISTENTES

Es posible que el descenso del perfil de playa al pie de los revestimientos existentes pueda llegar a comprometer la estabilidad de estos últimos. Sin embargo, no hay elementos para considerar que este revestimiento esté comprometido hoy y, además, es posible que el relleno de playa mitigue el descenso del perfil en este tramo de costa, por lo que en principio se recomienda no reforzar el pie de los revestimientos durante esta etapa de obras.

De todos modos, se recomienda implementar la siguiente campaña de monitoreo y control:

- Determinar, mediante exploración en sitio, la cota de fundación de los revestimientos existentes.
- Medir con periodicidad anual dos perfiles de playa en frente a los revestimientos (incluido en campañas de monitoreo descritas más abajo).
- En caso de verificarse una tendencia sistemática de descenso del perfil y que la proyección de esta tendencia indiquen que la cota del perfil al pie del revestimiento quedaría por debajo de la fundación de este último, proceder al diseño y construcción de una protección de pie. Las opciones para esta protección son las ya planteadas a nivel de diseño básico.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

4.11.4. PLAN DE MONITOREO Y SEGUIMIENTO

El plan de monitoreo de la obra deberá tener **como mínimo** los elementos y periodicidad que se detallan en la Tabla 4-25. 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 4-25 Componentes y frecuencias mínimas del plan de monitoreo de la obra.

Perfiles de playa

Se deberá realizar un levantamiento del perfil de playa desde la rambla hasta 250 m aguas adentro de la línea de costa. Se definirán al menos cuatro perfiles en la zona intervenida y dos perfiles fuera de la zona intervenida, uno aguas abajo y otro aguas arriba según la corriente litoral. La Figura 4-77 presenta la ubicación tentativa de estos perfiles, la cual será definida en la etapa de proyecto ejecutivo.

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 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 no debe dejar tramos sin levantar (la Figura 4-78 muestra un ejemplo de esta problemática). En caso de que el relevamiento deba hacerse desde mar y desde tierra deberá asegurarse que hay solape entre los dos relevamientos.



Figura 4-77 Localización tentativa de los perfiles a relevar.



Figura 4-78 Ejemplo de levantamientos topobatimétricos en que hay entre 50 m y 100 m de perfil de playa sin relevar.

Granulometría de arena

Se recomienda tomar tres muestras en cada uno de los perfiles relevados: 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

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

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.

Monitoreo medidas NbS Bosque nativo, ecosistema litoral y dunar.

A partir de fotografías aéreas se hará un seguimiento de la superficie de los 3 tipos de ecosistemas que integran las acciones NbS. Se espera poder tener un indicador de Has/año de bosque nativo implantado, de m²/año de ecosistema litoral de juncuales (integrando especies arbustivas litorales) y de superficie (m²/año) de duna donde se logró el establecimiento de vegetación herbácea dunar. Se podrá monitorear el aumento de superficie previsto como parte de la implementación de las medidas NbS. También podrá identificarse la pérdida de sobretodo de ecosistema dunar, debido a la erosión producida por eventos extremos de oleaje o de precipitaciones pluviales. Esto permitirá evaluar en dichas instancias la necesidad de restauración dunar posterior basado en el monitoreo.

Sobre el reporte y verificación del N° de hectáreas de bosque nativo, deberá estimarse una línea de base, incluyendo parches ya existentes de vegetación al comienzo de la ejecución de las medidas de adaptación del proyecto. Luego se deberá mantener un registro periódico, pudiendo ser bianual.

Para el caso de los componetes de ecosistema litoral y dunar, se reportaría m² de duna cubierta con tapiz vegetal (juncos y arborescentes en el caso litoral y tapiz herbáceo en el sistema dunar) y la medición sería de una frecuencia anual en el caso de vegetación litoral y semestral en caso dunar. El mayor esfuerzo de monitoreo dunar responde a la necesidad de evaluar con mayor frecuencia luego de eventos extremos de oleaje, lluvias o ambos, para planificar implementación de medidas de restauración de duna, en caso de ser necesario para mantener la capacidad de amortiguación de oleaje y de adaptación del ecosistema.

Se podrá monitorear el aumento, disminución de las superficies de bosque nativo, juncuales y herbazal dunar como indicador de capacidad de adaptación basado en NbS. También podrá identificarse la pérdida, sobretodo de ecosistema dunar, debido a la erosión producida por eventos extremos de oleaje o de precipitaciones pluviales. Esto permitirá evaluar en dichas instancias la necesidad de nuevas medidas de restauración dunar mediante la colocación de nuevas cercas captoras.

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 el tramo de costa entre las calles Av. Mihanovich y Benjamín Manton, aunque se recomienda cubrir todo el arco de playa.

Se recomienda explorar la posibilidad de realizar reconstrucción batimétrica a partir de las fotografías aéreas para la zona de la obra (tramo entre las calles Av. Mihanovich y Benjamín Manton). En este caso, deberá prestarse particular atención a tener mantener un adecuado registro del plano de referencia respecto al cual está referida la topografía, de modo de posibilitar la comparación entre distintos relevamientos.

Oleaje y nivel de mar

El nivel de mar ya se mide en la zona, tanto en el puerto deportivo como en el puerto comercial. En caso de que estas mediciones se vean interrumpidas se deberá instalar un mareógrafo en alguno de estos puertos.

Para la medición del oleaje se recomienda el fondeo de una boya de pequeñas dimensiones con transmisión remota y que funcione mediante paneles solares (e.g. boyas GPS de Sofar o Datawell). En cualquier caso, 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 los puertos de Colonia del Sacramento.

4.11.5. CAMINOS DE ADAPTACIÓN

Las alternativas consideradas para la adaptación del tramo de costa al aumento del nivel de mar fueron:

- Relleno y estabilización de playa en cuatro tramos.
- Protección de pie de barranco y/o bienes e infraestructura costera con revestimientos y muros costeros.

En primera instancia se optó por implementar el relleno y estabilización de arena en el Tramo 1. Esta intervención prevendrá la pérdida de sedimentos del sistema y aumentará el área de playa y parques suficiente como para compensar las pérdidas esperables por un aumento del nivel medio del mar de aprox. 40 cm.

Para el resto de los tramos se propone monitorizar el sistema y realizar las posibles intervenciones en la medida que sea necesario. Una vez superados los 4 años de monitoreo intensivo de la intervención del Tramo 1, se propone monitorizar las siguientes variables:

- posición media anual de la línea de costa, medida cada 100 m en todo el arco de playa,
- área total de playa y parques media anual, medida entre la rambla y la línea de costa media anual.

Ambas variables se pueden obtener a partir de imágenes satelitales y fotos aéreas. Se recomienda evaluar estas variables cada un máximo de 5 años y considerar los siguientes umbrales como disparadores de un proceso conducente a realizar una nueva intervención en el sistema:

- (A) Si la distancia entre la línea de costa media anual y la rambla u otros bienes a proteger es menor a 25 m durante 3 o más años consecutivos, debe iniciarse un proceso conducente a realizar una intervención de protección:
- a. si la condición se cumple en tan solo unos pocos perfiles de playa, la intervención más conveniente será ejecutar un revestimiento o muro costero similar a los ya existentes en la zona, o redistribuir los sedimentos que pudieran haber acumulado en el nuevo espigón de cierre del Tramo 1,
 - b. en caso de que esta condición se cumpla en un tramo más extendido y/o si esta condición se cumple de forma concomitante con la condición (B), entonces podrá resultar más conveniente iniciar los estudios conducentes a ejecutar el relleno y obra de estabilización de alguno de los Tramos 2 a 4.
- (B) Si el área total de playas y parques es menor a 16,5 has durante tres años consecutivos o más, entonces iniciar estudios conducentes a incrementar el área de playas mediante rellenos de arena y obras de estabilización. Se identifican dos posibles intervenciones:
- a. si esta condición ocurre de forma concomitante con la condición (A), entonces se recomienda iniciar los estudios conducentes a ejecutar el relleno y obra de estabilización de alguno de los Tramos 2 a 4.
 - b. si esta condición no ocurre de forma concomitante con la condición (A), y el Tramo 1 tiene capacidad de recibir nuevos rellenos sin que ello implique comenzar a perder sedimentos del sistema (rebase del espigón de cierre del Tramo 1), entonces deberá evaluarse qué resulta más conveniente: realizar nuevos rellenos de mantenimiento del Tramo 1 o realizar el relleno y las obras de estabilización de alguno de los Tramos 2 a 4.

Los plazos en que podría ser necesario llevar a cabo estas intervenciones dependerán de la respuesta del sistema al aumento del nivel medio del mar, así como de la velocidad con la que ocurra este último. En función del comportamiento esperado del sistema para el escenario de Cambio Climático RCP 8.5 analizado en este trabajo, se construye el gráfico de

la Figura 4-79, en el cual se indica de forma estimativa el momento en el cual se estima será necesario tomar una decisión en cuanto a la implementación de las distintas medidas de adaptación propuestas.

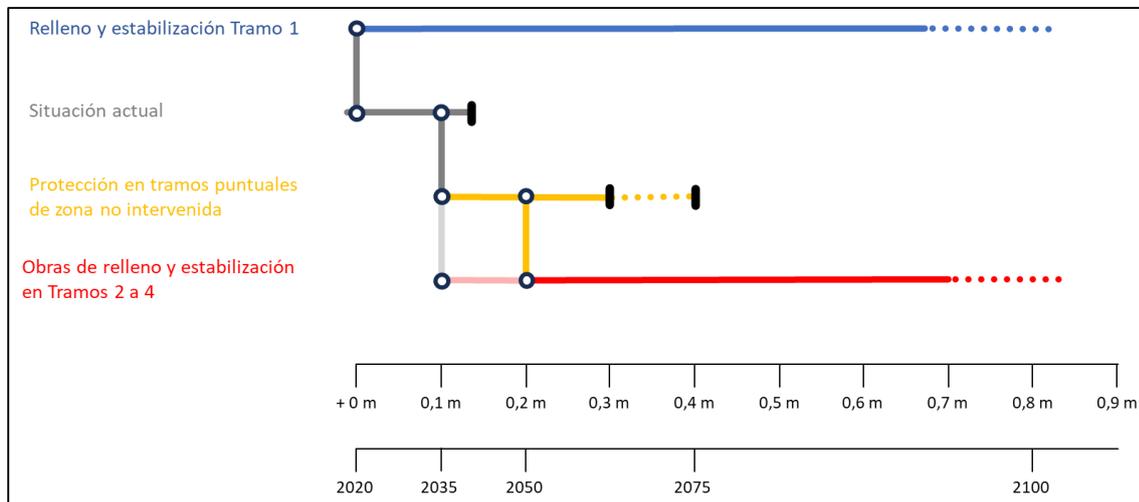


Figura 4-79– Caminos de adaptación propuestos para Colonia del Sacramento.

4.11.1. ACONDICIONAMIENTO DE DESCARGAS PLUVIALES

Las descargas pluviales en la playa generan zonas de arena húmeda (lengüetas) que impactan de forma negativa sobre el potencial de uso recreativo de la playa. Si bien, en base al diagnóstico realizado, no se identificaron problemas de capacidad de conducción, se propone el acondicionamiento de las mismas con el objetivo de reducir el tiempo en que se abren las lengüetas de descarga a la costa.

En este sentido, se plantea la implementación de un cuenco de disipación – infiltración aguas abajo de 10 de las descargas existentes en el arco en estudio (descargas 2 a la 8 y 10 a la 12). Dicha solución no es aplicable cuando no se tiene espacio suficiente entre la descarga y la línea de costa o en las zonas donde se tiene enrocado, es decir en las descargas 9, 13, 14, 15, 17 y 18.

En la descarga 16, la cual queda comprendida en la parte central del espacio de playa y parque ubicada más al Norte y cuya cuenca de aporte es de 111 ha aproximadamente, se propone la implementación de un cuenco de disipación y la deriva del cauce mediante el uso de geotubos hacia la zona donde hay enrocado.

4.11.1.1. Cuenco de disipación - infiltración

Esta intervención es una NbS, ya que se pretende reproducir el cuenco de infiltración natural que se observa en muchas descargas costeras. Para este cuenco, se busca adoptar las características de los ecosistemas de bañados donde se promueve la infiltración del agua afluyente, al menos en condiciones de flujo base o bajas precipitaciones. Combinada con medidas duras, como disipadores de energía para su protección y drenes para garantizar su efectividad.

El cuenco filtrante se materializa con una capa de entre 30 a 60 cm de piedra partida (tamaño aproximado de 2-4cm) rodeada de geotextil sobre la cual se coloca una capa de 30cm de arena y rocas rematada superiormente con vegetación, en particular especies hidrófilas herbáceas y arborescentes. A su vez, entre la infraestructura de descarga y el cuenco filtrante, se proyecta un enrocado que oficia de disipador de energía para proteger la estructura y la vegetación del cuenco de infiltración. Aguas abajo del cuenco filtrante podrá ser necesaria la implementación de una estructura de contención y protección (ej: geotubos), con la función de evitar que en el caso de que un evento extremo de oleaje o de nivel de mar erosione la berma y logre desestabilizar el cuenco, provocando el arrastre del enrocado o demás elementos del sistema al mar. Dichos elementos se pueden observar de manera conceptual en el esquema presentado en la Figura 4-80.

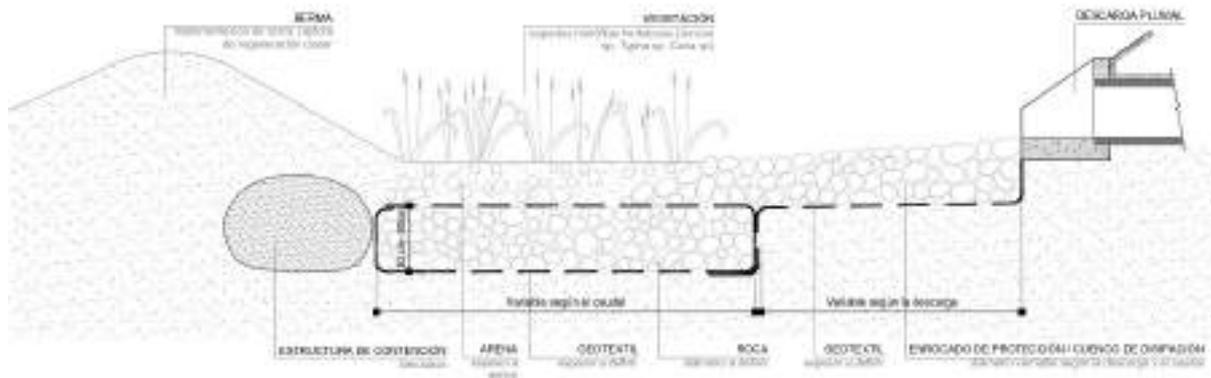


Figura 4-80 – Esquema conceptual del sistema de adaptación de las descargas pluviales.

Disipador de energía- Metodología de dimensionado

El cuenco de disipación se dimensiona utilizando la formulación propuesta para *riprap apron* en el Manual del HEC 14²⁴:

$$D_{50} = 0.2D \left(\frac{Q}{\sqrt{g}D^{2.5}} \right)^{4/3} \left(\frac{D}{TW} \right)$$

A partir de esta formulación, se obtiene el tamaño de la roca (D_{50}), en función del caudal (Q) (se propone usar el caudal correspondiente a TR 5 años), el diámetro de la descarga (D), el tirante (TW), si no se cuenta con esta información el manual sugiere utilizar $TW=0.4D$.

Luego se obtienen las dimensiones: profundidad, largo de la protección y ancho utilizando las siguientes relaciones indicadas en la Tabla 4-26 extraídas del manual de referencia.

D50(mm)	Largo (m)	Profundidad (m)	Ancho (m)
125	4D	3,5D50	3D+(2/3)L
150	4D	3,3D50	
250	5D	2,4D50	
350	6D	2,2D50	
500	7D	2,0D50	
550	8D	2,0D50	

Tabla 4-26: Cálculo de las dimensiones de la zona de disipación

Cuenca de infiltración – Metodología de dimensionado

Los caudales para los que se dimensionan los cuencos se calculan a partir de 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 ciudad de Colonia corresponde a la N°22.

²⁴ Federal Highway Administration, 2006. Hydraulic Design of Energy Dissipators for Cluverts and Channels (Hydraulic Engineering Circular No.14).

Cuenca	Caudal estiaje máx (l/s)
2	3,6
3	0,4
4	6,8
5	0,2
6	0,4
7	0,2
8	1,1
10	0,2
11	0,6
12	0,5

Tabla 4-27 –Caudales de estiaje máximos para las descargas donde se aplica el cuenco de infiltración-disipación.

Para calcular el área en planta necesaria para infiltrar los caudales de estiaje, se debe considerar la tasa de infiltración del suelo en el cual se implantará el sistema, ya que será el estrato que limite la infiltración (permeabilidad menor a la de la roca del manto filtrante y del geotextil).

Se considera una tasa de infiltración de 10^{-4} m/s, tomando como referencia el valor medio del rango de tasas de infiltración de la arena según la bibliografía empleada²⁵ que va desde 10^{-3} a 10^{-5} m/s. Cabe señalar que en etapa de proyecto se deberá realizar un estudio de permeabilidad de la arena del sitio, para obtener la tasa de infiltración real, así como la verificación mediante cateos de que en el sitio existe una potencia de arena suficiente que permita aceptar la hipótesis de que la infiltración es gobernada por la arena y que no exista un estrato impermeable que impida la infiltración a la tasa estimada.

Con dicha área y el ancho disponible, se calcula el largo del cuenco.

Finalmente, se calcula el área transversal necesaria para que la velocidad del flujo en este escenario sea menor o igual que 0,8 m/s (velocidad máxima para evitar el arrastre de la vegetación). Con dicha área y el ancho disponible, se verifica que el tirante del flujo sea del orden de milímetros (lámina de agua para caudales de estiaje).

Para la implementación de esta solución se deberá verificar que se cuenta con el espacio necesario aguas abajo de la descarga y previo a la zona de dunas.

²⁵ Taller de sistemas Urbanos de -drenaje Sostenible (SuDS) Intendencia de Montevideo – BID, Mayo 2020.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

Aplicación del cuenco disipación – infiltración en las descargas de Colonia

En base a las imágenes satelitales y fotografías tomadas en campo, se determina la factibilidad de aplicación del cuenco de infiltración-disipación aguas abajo de las descargas existentes del arco en estudio. En este sentido, se identifican tres categorías (ver Tabla 4-28 y Figura 4-81):

- Aplicable en la primera etapa: quedan comprendidas en esta categoría las descargas que en la actualidad poseen espacio disponible en la zona de bosque costero nativo actual (previo a la zona de playa).
- Aplicable en etapa futura: quedan comprendidas en esta categoría las descargas que en la actualidad no poseen espacio disponible en la zona de bosque costero nativo, pero que producto de la intervención a realizar en una etapa futura, donde se proyecta ampliar el área de playa/parque, contarán con espacio para ejecutar esta solución.
- No aplicable: quedan comprendidas en esta categoría las descargas en las cuales no es posible realizar esta intervención, ya que no cuentan con espacio suficiente entre la descarga y la línea de costa y/o se ubican en la zona de enrocado existente.

En el caso de la descarga 16, dada su ubicación y magnitud se realiza un análisis y solución particular la cual se presenta en la sección 4.11.1.2.

	Aplicable 1era etapa	Aplicable etapas futuras	No aplicable
ID descarga	11,10,8,7,6,4,3	12,5,2	18,17,15,14,13,9

Tabla 4-28: Resumen de la aplicación de los cuencos de infiltración disipación en las descargas de Colonia.



Figura 4-81: Categorización de las descargas según la aplicación de la intervención tipo.

En función de los caudales de estiaje y la metodología previamente presentada, se realiza el dimensionado de los cuencos de infiltración-disipación. En este sentido, se adoptan dos categorías de solución:

- Cuenco con área menor a 25 m²: se adoptan cuencos estandarizados de 25 m²
- Cuenco con área entre 25 m² y 100 m²: se adoptan cuencos estandarizados de 100m²

De esta manera, se estandarizan las dimensiones de los cuencos generando mayor simplicidad constructiva.

Descargas	Área cuenco (m2)
3,5,6,7,8,10,11 y 12	25
2 y 4	100

Tabla 4-29: Clasificación de tipología de descarga a aplicar.

Las dimensiones de los cuencos de infiltración-disipación según las categorías propuestas son:

Área cuenco (m2)	Infiltración		Disipación			
	Largo (m)	Ancho (m)	D50 (m)	Profundidad (m)	Largo (m)	Ancho (m)
25	5	5	0,25	0,6	4	5
100	10	10	0,35	0,8	6	7

Tabla 4-30: Dimensiones de los cuencos tipo de disipación-infiltración.

Cabe señalar que esta intervención es válida si se verifica que la napa se encuentra por debajo del nivel inferior del cuenco filtrante. Por lo tanto, en la etapa de proyecto se deberán realizar los estudios piezométricos pertinentes que permitan determinar el nivel de la napa freática en las zonas a intervenir.

4.11.1.2. Intervención descarga 16 – Juan Manuel Caballero

La descarga 16, ubicada en la calle Juan Manuel Caballero y denominada Canaletón del Camping, queda comprendida en la zona de parque con parrilleros públicos previo al área de playa. Uso por el cual la intendencia reconstruye el puente peatonal ubicado sobre el cauce aguas abajo de la descarga (ver Figura 4-82 y Figura 4-83). Tal como se menciona en la sección 4.9, la descarga consiste en una sección rectangular de 3m x 3m y su cuenca de aporte es de 111 ha aproximadamente.

Adicionalmente, la descarga queda comprendida en la parte central del espacio de playa y parque del bloque que se desarrolla en la etapa 1 (relleno de playa y construcción de espigón), por lo que se propone su intervención para evitar que el flujo de agua pluvial descargado no atravesase el relleno de arena proyectado. En la Figura 4-82 y Figura 4-83 se puede observar la extensión del relleno de arena proyectado (indicando la nueva línea de costa), en particular se observa que en la zona de la descarga 16, la línea de costa se adelanta aproximadamente 30m.



Figura 4-82: Ubicación general de la descarga 16.



Figura 4-83: Descarga 16.

La actuación a implementar tiene como principal objetivo, forzar que la descarga se de en una zona específica y de manera controlada, minimizando la afectación del espacio de playa y relleno proyectado. En este sentido, la intervención consiste en producir la deriva del cauce hacia la zona donde se encuentra el enrocado existente (al este del relleno de arena). Para materializar la deriva, se propone la implementación de geotubos o suelo reforzado, sobre los cuales se reconstruye la duna mediante el relleno de arena, la implementación de cercas captoras y la revegetación dunar. La función del geotubo o suelo reforzado es constituir el núcleo dunar que asegure la permanencia de dicha barrera física frente a eventos de tormenta extrema. El núcleo de la duna se coloca en dirección perpendicular al flujo de la descarga y realizando un cierre hacia la zona oeste de la playa (ver Figura 4-84), con una extensión aproximada de 65m y 40m respectivamente, dejando unos 30m libres (aledaño a la zona de enrocado) donde eventualmente se efectúa la conexión con el río. En la etapa de proyecto ejecutivo se definirá qué tipo de núcleo dunar se utiliza (geotubos o suelo reforzado). Sin embargo, se deja establecido que tanto la solución con geotubos como con suelo reforzado, deberá efectuarse con material local (arena), extraída de alguna zona de préstamo cercana, con el fin de generar una solución que mantenga las condiciones del sitio. La duna proyectada tendrá una cota superior aproximada de 4mWh. El núcleo de la duna será apoyado a una cota de 1mWh, con una altura de 2m, dejando una capa superior de 1m de arena que cubra el núcleo dunar.

Con esta medida, se eleva la cota de la playa frente a la descarga y se deja que el escurrimiento pluvial tome el camino de puntos bajos hasta alcanzar la descarga al río. Al aumentar el recorrido que realiza el flujo antes de descargar en la playa, se reduce su velocidad y se promueve su infiltración.

A su vez, se proyecta la construcción de una zona de laguna aguas abajo del puente peatonal, con el objetivo de disminuir las velocidades del flujo en dicha zona y por ende reducir el potencial erosivo. Se promueve la vegetación de tipo bosque fluvial en la zona de la laguna y especies del tipo bosque costero nativo en los taludes de la misma. La vegetación en la laguna genera el aquietamiento del agua, lo cual contribuye al descenso de las velocidades del flujo que escurre por la misma. La vegetación de tipo arbusto en los taludes se presenta para proteger las márgenes de la laguna y en particular proteger el pie de la duna generada (con núcleo de geotubos).

La laguna se diseña con el objetivo de obtener velocidades de flujo menores a 0.9m/s para el evento de TR 2 años. Dicha velocidad se selecciona tomando en cuenta que el flujo no erosione el pie de la duna proyectada y que no se arranque la vegetación para eventos de recurrencia menor a 2 años. En este sentido, se realiza el diseño de la laguna para TR 2 años, donde se obtienen las siguientes características:

Laguna descarga 16	
Sección	Trapezoidal
Base (m)	25
Taludes	2:1
Largo total (m)	80
Pendiente longitudinal (%)	0,35
Numero de manning (fondo vegetado)	0,045
Velocidad flujo TR 2 años (m/s)	0,70

Tabla 4-31: Características principales de la laguna proyectada en la zona del Canaletón del camping.

La cota de descarga asumida corresponde a 2.5mWh, lo cual implica que para eventos donde el nivel de agua sea menor, la descarga no vierte a la playa, quedando el escurrimiento contenido en la laguna y evacuando mediante infiltración al terreno. Cabe señalar que esta cota es un valor estimado a partir del perfil actual de playa y que la misma será variable conforme el sistema evolucione y se modifique el perfil de playa. En tiempo seco se podrá acumular arena en esa zona y por ende se eleva la cota, mientras que en eventos de tormenta que impliquen la apertura de la laguna al río la arena acumulada es erosionada y la cota desciende.

Adicionalmente, con el objetivo de disminuir la energía del flujo y por ende su potencial erosivo, se plantea la implementación de un cuenco de disipación (*riprap basin*) inmediatamente aguas abajo de la alcantarilla de descarga. El mismo se diseña siguiendo las formulaciones y recomendaciones presentadas en Manual del HEC 14²⁶ adaptadas a la geometría del canal existente, las dimensiones obtenidas se presentan en la Tabla 4-32.

²⁶ Federal Highway Administration, 2006. Hydraulic Design of Energy Dissipators for Cluverts and Channels (Hydraulic Engeneering Circular No.14).

Dimensiones cuenco de disipación	
Largo (m)	30
Ancho (m)	15
Profundidad cuenco (m)	1
D50 (m)	0,35
Cantidad de capas de roca fondo y taludes	2
Cantidad de capas de roca inmediatamente aguas abajo alcantarilla	3

Tabla 4-32: Dimensiones cuenco de disipación inmediatamente aguas abajo de la descarga 16.

La extensión de la zona protegida con enrocado, abarca desde la salida de la alcantarilla hasta 3m luego de pasar la fundación del puente peatonal. La extensión de la zona a proteger se podrá ajustar en proyecto ejecutivo, teniendo en cuenta que no se afecte las fundaciones del puente peatonal.

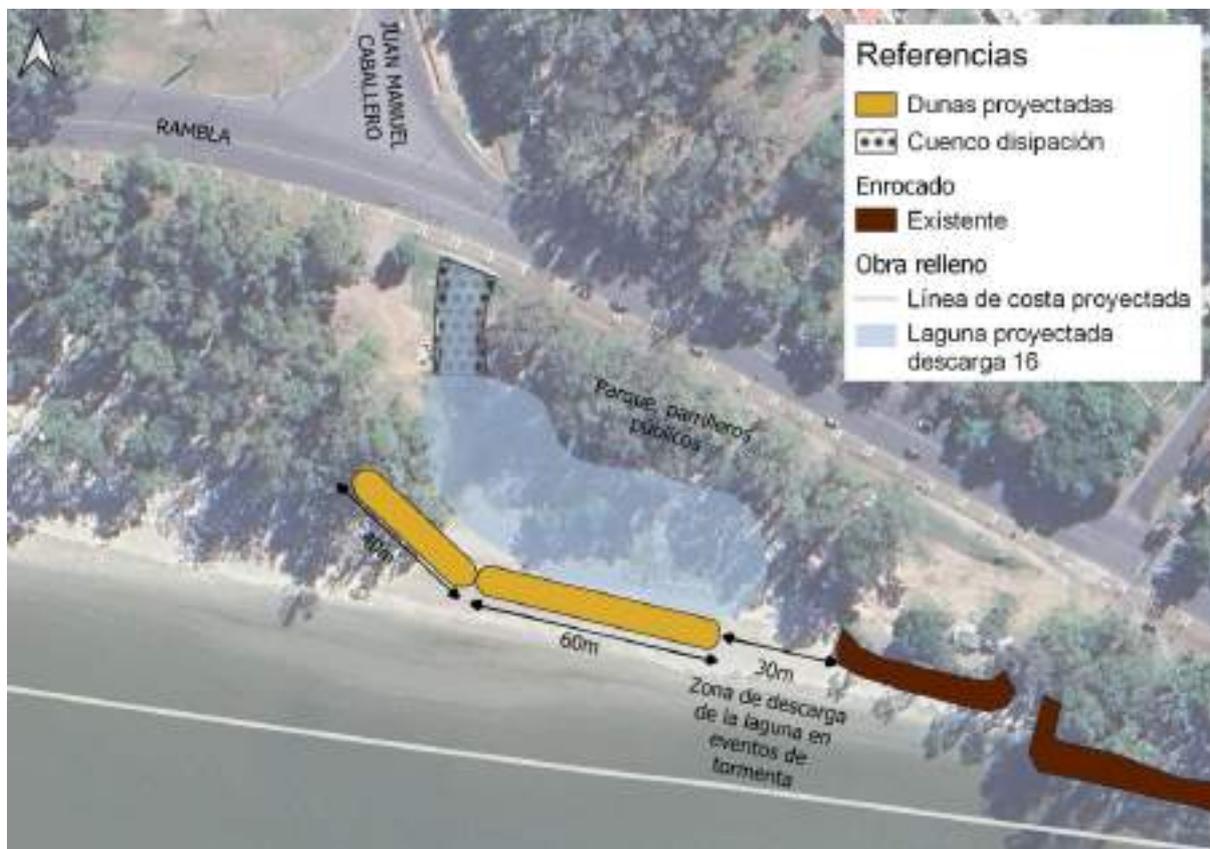


Figura 4-84: Esquema conceptual de la intervención en la descarga 16.

4.11.2. CERCAS CAPTORAS DE ARENA

4.11.2.1. Respetto a la construcción y gestión de cercas captoras de regeneración dunar

Las medidas de reconstrucción dunar como NbS 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.

4.11.2.2. 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

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

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.

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.

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.

Con las pantallas se busca regenerar el cordón dunar, conectando las secciones de duna discontinuas y cerrando los corredores de viento (blowouts) que se forman en el campo dunar y por donde la arena se escurre fuera de la zona costera hacia las infraestructuras viales y viviendas aledañas. Se trabaja entonces en la construcción de pantallas paralelas a la costa que se disponen en forma consecutiva, a través del campo dunar (Figura 4-85).



Figura 4-85: Cercas captoras de material biodegradable (tomado de ficha técnica n°6 proyecto URU/07/2013)

4.11.2.3. Características de las cercas a implantar

Los restos vegetales serán de podas de ramas recién cortadas, para que tengan abundante follaje lo que facilita la captación de arena.

Las podas se colocan linealmente sobre la arena en **forma paralela** al cordón dunar y luego se sujetan al piso con hilo tipo sisal. Para evitar la voladura de las pantallas, se colocan pequeños trozos de madera (provenientes de la propia poda) a la que se ata el hilo de modo de asegurar y fondear toda la estructura al suelo (Figura 4-86 y Figura 4-87).



Figura 4-86: Detalles de los trozos de madera que se utilizan para asegurar la poda (tomado de ficha técnica n°6 proyecto URU/07/2013)



Figura 4-87: Atado de las podas y vista de las cercas en paralelo al cordón dunar (tomado de ficha técnica n°6 proyecto URU/07/2013)

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.
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



Figura 4-88: Corte de duna recuperada en experiencias anteriormente documentadas donde se aprecian anclajes y ataduras con hilo sisal.

Se sugiere que las cercas captoras se desarrollen 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.

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.

4.11.3. ACCESOS A LA PLAYA

Se plantean realizar tres accesos costeros que permiten el ingreso a la zona de playa a intervenir en la etapa 1. Dos de estos accesos coinciden con los accesos universales 1 y 2 planteados por la intendencia de Colonia, la cual a su vez plantea la incorporación de un tercer acceso universal ubicado en el remate de la calles Eduardo Couture a desarrollar en las etapas futuras.

Acceso costero Nicolás Mihanovich

Se ubica en el remate de la Av. Mihanovich del Real de San Carlos, donde actualmente no se cuenta con ninguna infraestructura que permita acceder de forma sencilla a la playa.

El mismo se incorpora entre el estacionamiento vehicular y el parador existente, y permitirá tanto el acceso a la playa como al paseo peatonal del espigón.



Estacionamiento y parador



Vista desde la playa

Figura 4-89 Fotografías tomadas durante la recorrida por la Intendencia de Colonia

Acceso costero zona central

Se ubica en la parte central del espacio a intervenir en primera etapa.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

Acceso costero Alejandro Otaegui

Se ubica en el remate de la calle Alejandro Otaegui, donde actualmente hay una batería de baños y la playa cuenta con una bajada vehicular para embarcaciones.

El mismo permite el ingreso desde el lado esta de la playa intervenida en primera etapa.



Vista general



Vista desde la playa

Figura 4-90 Fotografías tomadas durante la recorrida por la Intendencia de Colonia

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.

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.

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.

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 calor 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.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

- 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.

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).

4.11.1. ASPECTOS ECONÓMICOS

Se realiza una estimación de costos considerando los principales componentes de las propuestas desarrolladas a nivel de anteproyecto. 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 y se realice un diseño más detallado de las diferentes componentes (rubros).

En la Tabla 4-33 se presenta el detalle de los rubros con sus costos asociados, para las actuaciones a realizarse en etapa 1 en la zona correspondiente a la playa del Real de San Carlos. Por su parte, en la Tabla 4-34 se presenta el detalle de rubros y costos para las

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

intervenciones a desarrollarse en todo el arco de estudio a excepción de la playa del Real de San Carlos. En esta última se destaca que las actuaciones de reconstrucción de ecosistemas podrán tener cierta recurrencia de inversión (en futuras etapas de actuación) si se detectara su necesidad de reconstrucción a partir de monitoreo.

RUBRADO ETAPA 1 ZONA NORTE (PLAYA REAL DE SAN CARLOS)

RUBRO	DETALLE	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Pesos uruguayos	PRECIO SUBRUBRO Pesos uruguayos	% de incidencia
1	ESPIGON				129.322.723	41%
1.1	Suministro y colocacion de coraza				80.749.816	26%
1.1.1	Roca W50=3,2 bn	470	m3	11.445	5.379.150	2%
1.1.2	Roca W50=3 bn	4.269	m3	11.445	48.856.416	16%
1.1.3	Roca W50=2 bn	2.780	m3	9.538	26.514.250	8%
1.2	Suministro y colocacion de subcapa				28.234.815	9%
1.2.1	Roca W50=320kg	328	m3	5.723	1.876.980	1%
1.2.2	Roca W50=300kg	2.576	m3	5.723	14.741.160	5%
1.2.3	Roca W50=200kg	2.030	m3	5.723	11.616.675	4%
1.3	Suministro y colocacion del núcleo				10.626.454	3%
1.3.1	Roca W50=1-15kg	2.082	m3	3.052	6.353.654	2%
1.3.2	Roca W50=0,5-10kg	1.400	m3	3.052	4.272.800	1%
1.3	Suministro y construcción de pavimento transitable	417	m3	16.800	7.005.600	2%
1.4	Suministro y construcción de filtro (geotextil)	4.692	m2	84	392.939	0%
1.5	Suministro y colocación de faroleta	1	Unidad	1.907.500	1.907.500	1%
1.6	Retiro de espigones existentes	1	Unidad	405.600	405.600	0%
2	RECONSTRUCCIÓN DE ECOSISTEMAS				135.490.400	43%
2.1	Suministro y colocación de relleno de arena	76.000	m3	610	46.390.400	15%
2.2	Cerca captoras	2.000	ml	3.000	6.000.000	2%
2.3	Ecosistema dunar - Plantaciones herbáceas	50.000	m2	500	25.000.000	8%
2.4	Ecosistema litoral - Plantación de arborescentes	2.100	ml	1.000	2.100.000	1%
2.5	Bosque - Transición a especies nativas	70.000	m2	800	56.000.000	18%
3	ACONDICIONAMIENTO URBANO				3.445.898	1%
3.1	Conformación cordón cuneta calzada y construcción de vereda similar a existente	108	ml	7.802	842.616	0,3%
3.2	Pavimento hormigón texturado explanada	405	m2	1.810	733.050	0,2%
3.3	Estacionamiento de balastro	341	m2	1.000	341.000	0,1%
3.4	Murete de piedra ahogada	30	m3	20.000	600.000	0,2%
3.5	Pasarela de madera	235,07	ml	3.953	929.232	0,3%
4	DESCARGA PLUVIAL N°16				5.995.596	2%
4.1	Movimiento de suelos para conformación de laguna	3.850	m3	260	1.000.444	0,3%
4.2	Suministro y colocacion de enrocado D50=0,35m	440	m3	100	43.995	0,0%
4.3	Suministro y colocacion de núcleo dunar (geotubos)	15	Unidad	70.310	1.054.657	0,3%
4.4	Suministro y colocacion de manto antisocavación	1.000	m2	382	381.500	0,1%
4.5	Suministro y colocación de cerca captoras	400	ml	3.000	1.200.000	0,4%
4.6	Suministro y colocación de vegetación en la laguna (especies fluviales)	2.500	m2	500	1.250.000	0,4%
4.7	Suministro y colocación de vegetación en los taludes de la laguna (especies bosque costero)	850	m2	800	680.000	0,2%
4.8	Suministro y colocación de vegetación dunar	770	m2	500	385.000	0,1%
5	MONITOREO INTENSIVO TRAMO 1 (DURACIÓN 4 AÑOS)				4.308.700	1%
5.1	Campañas de medición de oleaje y nivel				953.750	0%
5.1.1	Suministro de boya (medición de oleaje)	1	gl	381.500	381.500	0,1%
5.1.2	Instalación de boya (medición de oleaje)	1	gl	381.500	381.500	0,1%
5.1.3	Mantenimiento de boya (medición de oleaje)	1	gl	190.750	190.750	0,1%
5.2	Campañas de relevamiento de perfiles de playa (incluye 9 campañas durante los 4 años y campañas post-tormenta)	1	gl	2.594.200	2.594.200	0,8%
5.3	Toma de muestras y ensayo granulométrico de arena (3 muestras por perfil)	1	gl	360.000	360.000	0,1%
5.4	Fotografías aéreas (incluye 3 campañas en los 4 años)	1	gl	210.000	210.000	0,1%
5.5	Análisis de la información recabada en el monitoreo	1	gl	190.750	190.750	0,1%
	SUBTOTAL				278.563.317	
	PROYECTO EJECUTIVO			4%	11.142.533	
	DIRECCIÓN DE OBRA			5%	13.928.166	
	IMPLANTACIÓN, MEDIDAS DE SEGURIDAD Y COSTOS VARIOS			3%	8.356.900	

NOTAS	SUBTOTAL SIN LEYES		311.990.915
Este rubrado corresponde a las acciones a tomar en la zona de la playa Real de San Carlos (zona Norte)	IMPREVISTOS	10%	31.199.092
	TOTAL SIN LEYES		343.190.007
	LEYES	20%	68.638.001
Precio de oficina en pesos uruguayos	IVA	22%	68.638.001
Se suponen solo un 10% de imprevistos	TOTAL CON LEYES S/IVA		411.828.008
Se presenta el total con leyes pero SIN iva			

Tabla 4-33: Estimación de costos para la etapa 1 en el tramo de playa del Real de San Carlos.

RUBRADO ETAPA 1 - EN TODO EL ARCO DE PLAYA

RUBRO	DETALLE	CANT.	UNIDAD	PRECIO UNITARIO Pesos uruguayos	PRECIO SUBRUBRO Pesos uruguayos	% de incidencia
1	RECONSTRUCCIÓN DE ECOSISTEMAS				55.700.000	93,0%
1.1	Cerca captoras	2.000	m1	3.000	6.000.000	10,0%
1.2	Ecosistema dunar - Plantaciones herbáceas	26.000	m2	500	13.000.000	21,7%
1.3	Ecosistema litoral - Plantación de arborescentes	1.500	m1	1.000	1.500.000	2,5%
1.4	Bosque - Transición a especies nativas	44.000	m2	800	35.200.000	58,8%
2	DESCARGAS PLUVIALES/ CUENCOS DE INFILTRACIÓN-DISIPACIÓN				1.732.402	2,9%
2.1	Cuencos de 25m2	8	Unidad	152.821	1.222.571	2,0%
2.1.1	Suministro y colocación de enrocado de disipación (D50=0,25m)	12	m3	100	1.200	0,0%
2.1.2	Suministro y colocación de material granular (2cm-4cm)	15	m3	1.052	15.786	0,0%
2.1.3	Suministro y colocación de geotextil	87	m2	84	7.245	0,0%
2.1.4	Suministro y construcción de estructura de contención (geotubo)	1	Unidad	70.310	70.310	0,1%
2.1.5	Suministro y colocación de manto antisocavación	120	m2	382	45.780	0,1%
2.1.6	Suministro y colocación de vegetación especies hidrófitas herbáceas	25	m2	500	12.500	0,0%
2.2	Cuencos de 100m2	2	Unidad	254.916	509.831	0,9%
2.2.1	Suministro y colocación de enrocado de disipación (D50=0,35m)	34	m3	100	3.360	0,0%
2.2.2	Suministro y colocación de material granular (2cm-4cm)	60	m3	1.052	63.145	0,1%
2.2.3	Suministro y colocación de geotextil	267	m2	84	22.320	0,0%
2.2.4	Suministro y construcción de estructura de contención (geotubo)	1	Unidad	70.310	70.310	0,1%
2.2.5	Suministro y colocación de manto antisocavación	120	m2	382	45.780	0,1%
2.2.6	Suministro y colocación de vegetación especies hidrófitas herbáceas	100	m2	500	50.000	0,1%
3	MONITOREO ARCO COMPLETO (PERÍODO 5 AÑOS)				2.460.850	4,1%
3.1	Campañas de relevamiento de perfiles de playa (incluye 5 campañas durante los 5 años)	1	gl	2.060.100	2.060.100	3,4%
3.2	Fotografías aéreas (3 campañas en los 5 años)	1	gl	210.000	210.000	0,4%
3.3	Análisis de la información recabada en el monitoreo	1	gl	190.750	190.750	0,3%

NOTAS	SUBTOTAL SIN LEYES		59.893.252
Este rubrado corresponde a las acciones a tomarse en la etapa inicial en todo el arco de playa en estudio a excepción del tramo norte (Playa Real de San Carlos)	IMPREVISTOS	10%	5.989.325
	TOTAL SIN LEYES		65.882.578
Precio de oficina en pesos uruguayos	LEYES	20%	13.176.516
Se suponen solo un 10% de imprevisos	IVA	22%	13.176.516
Se presenta el total con leyes pero SIN iva	TOTAL CON LEYES S/IVA		79.059.093

Tabla 4-34: Estimación de costos para la etapa 1 en todo el arco de estudio a excepción del tramo de playa del Real de San Carlos.

4.11.2. ASPECTOS AMBIENTALES

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

En las siguientes matrices (Tabla 4-35, Tabla 4-36 y Tabla 4-37) se presenta los impactos identificados según la fase de la obra (construcción, operación y abandono), el factor y aspecto ambiental.

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

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 del Real de San Carlos
		Uso del parque/parrilleros	Restricción temporal al uso de la zona de parque y parrilleros públicos
		Uso de la rambla	Restricción temporal al uso recreativo de el sector afectado de la rambla
		Paisaje	Afectación al paisaje por presencia física de la obra
	Remoción de sedimento (dragado) para el relleno de playa	Hidrodinámica de la zona corriente litoral abajo de la obra	Cambios en la hidrodinámica corriente litoral abajo de la obra por modificación de la morfología del fondo en la zona de préstamo
		Fauna bentónica	Afectación a la fauna bentónica por remoción de sedimentos en la zona de préstamo
	Re-suspensión de sedimento para el relleno de playa	Calidad del agua zona de préstamo	Afectación a la calidad del agua por re-suspensión de sedimentos en la zona de préstamo
		Fauna ictícola	Afectación a la fauna ictícola por re-suspensión de sedimentos en la zona de préstamo
	Disposición de material dragado en zona de vertido (arco de playa de etapa 1)	Calidad del agua zona de vertido	Afectación a la calidad del agua por suspensión de sedimentos producto de la disposición del material de dragado en la zona de vertido para relleno de playa
		Fauna bentónica	Afectación a la fauna bentónica por vertido de sedimentos en la zona de relleno de playa
		Fauna ictícola	Afectación a la fauna ictícola por vertido de sedimentos en la zona de relleno de playa
		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 draga, bombas de llenado de geotubos, equipo de vertido de arena, transporte y colocación de enrocado, 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
	Tránsito terrestre inducido	Tránsito vehicular/peatonal usual	Afectación al tránsito vehicular y peatonal (circulación por la rambla) por el tránsito de maquinaria pesada
	Generación de residuos asimilables a domésticos	Paisaje	Deterioro del paisaje por gestión inadecuada de residuos asimilables a domésticos
	Generación de ROCs	Paisaje	Deterioro del paisaje por gestión inadecuada de ROCs
Efluentes líquidos	Calidad del agua/suelo	Afectación a la calidad del agua y/o suelo (zona entre el área de préstamo y área de actuación de la obra) por gestión inadecuada de agua de lavado de maquinaria	
Derrames en agua	Calidad del agua	Afectación a la calidad del agua (zona entre el área de préstamo y área de actuación de la obra) por derrame de hidrocarburos o sustancias peligrosas en agua	
Derrames en tierra	Calidad del agua/suelo	Afectación a la calidad del agua y/o suelo (zona entre el área de préstamo y área de actuación de la obra) por derrame de hidrocarburos o sustancias peligrosas en tierra	

Tabla 4-35: Identificación de impactos ambientales durante la fase de construcción de la obra.

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

Consortio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

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	Retroceso de la línea de costa en la zona corriente litoral abajo del espigón proyectado
		Uso de la playa	Aumento del área de playa con fines recreativos
		Uso recreativo del espigón	Generación de un paseo a ser utilizado con fines recreativos por la población en el espigón
		Uso recreativo de la zona de parque/parrilleros	Modificación del espacio actualmente utilizado con fines recreativos como parque y parrilleros, con la implantación de la laguna pluvial
		Fauna ictícola	Afectación a fauna ictícola por la presencia del espigón
	Incidentes	Paisaje	Modificación del paisaje debido al aumento de ancho de playa y a la presencia del espigón
		Paisaje	Afectación del paisaje por exposición y/o rotura de geotubos

Tabla 4-36: Identificación de impactos ambientales durante la fase de operación de la obra.

Fase	Aspecto	Factor	Impacto
Abandono	Presencia física del desmonte de la obra	Población	Percepción social negativa de la población a causa de la presencia física del desmonte de la obra
		Uso de la playa	Restricción temporal al uso recreativo de la playa del Real de San Carlos
		Uso del parque/parrilleros	Restricción temporal al uso de la zona de parque y parrilleros públicos
		Uso de la rambla	Restricción temporal al uso recreativo de el sector afectado de la rambla
		Paisaje	Afectación al paisaje
	Emisiones sonoras	Nivel de presión sonora	Incremento del nivel de presión sonora producto de las emisiones sonoras de maquinaria pesada
		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 maquinaria pesada
	Generación de residuos	Paisaje	Deterioro del paisaje por gestión inadecuada de residuos asimilables a domésticos
	Generación de ROCs	Paisaje	Deterioro del paisaje por gestión inadecuada de ROCs
	Efluentes líquidos	Calidad del agua/suelo	Afectación a la calidad del agua y/o suelo por gestión inadecuada de agua de lavado de maquinaria
Derrames en agua	Calidad del agua	Afectación a la calidad del agua por derrame de hidrocarburos o sustancias peligrosas en agua	
Derrames en tierra	Calidad del agua/suelo	Afectación a la calidad del agua y/o suelo por derrame de hidrocarburos o sustancias peligrosas en tierra	

Tabla 4-37: Identificación de impactos ambientales durante la fase de abandono de la obra.

4.11.3. LÍNEA DE TIEMPO DE LA OBRA

A continuación, se presenta la línea de tiempo de la obra donde se marcan los distintos componentes del monitoreo en sus dos etapas: una primera etapa de monitoreo intensivo del tramo donde se desarrolla la obra del espigón y relleno (tramo 1) y una segunda fase de monitoreo en la cual se analiza el arco completo. A partir de esta última, se podrán ejecutar las obras según las condiciones indicadas en la Figura 4-91, así como en la Sección 4.11.5.

4.11.4. RECOMENDACIONES PARA PROYECTO EJECUTIVO

Previo a realizar el proyecto ejecutivo del anteproyecto desarrollado, 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 y cateos. En función de los resultados obtenidos se deberán ajustar los volúmenes de relleno y definir los procesos constructivos de la obra. En cuanto a los espigones, para el diseño ejecutivo de la obra se recomienda realizar ensayos de laboratorio a escala reducida para verificar la estabilidad de los espigones. Se deberán verificar en la etapa de diseño ejecutivo, las características de la roca y el método constructivo a utilizar y, de ser necesario, el diseño de los espigones deberá ajustarse acorde a las características del material y el proceso constructivo a usar en la ejecución 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.

4.11.5. PERSPECTIVA DE GÉNERO

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

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

Consorcio Istec Ingeniería | Dica & Asociados

Noviembre 2023

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.

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.