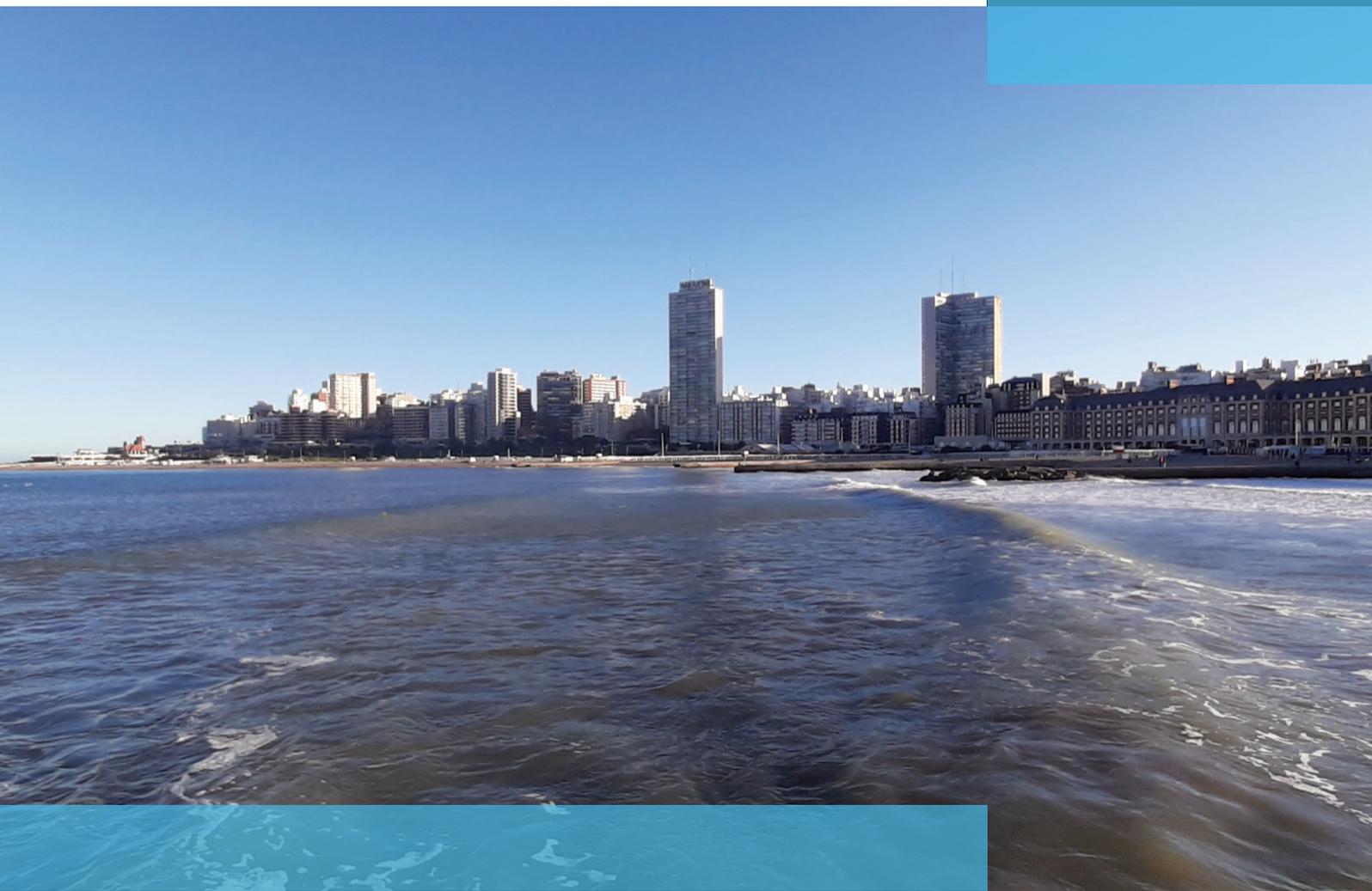


CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA LITORAL EN LA COSTA MARÍTIMA BONAERENSE



Aportes hacia una gestión integrada

2020

EQUIPO DE TRABAJO



Subgerencia Laboratorio de Hidráulica Instituto Nacional del Agua (LHA-INA, Argentina)

Msc. Ing. Mariano Re
Ing. Pablo E. García
Ing. Lucas Bindelli
Ing. Martín Sabarots Gerbec
Msc. Ing. Nicolás J. Tomazin
Lic. Carlos Haspert
Arq. Leonardo S. Peralta
Lic. Federico Haspert



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental Facultad de Ingeniería - Universidad de la República (IMFIA-FING-UdelaR, Uruguay)

Dr. Ing. Mónica Fossati
Dr. Ing. Sebastián Solari
Dr. Ing. Pablo Santoro
Msc. Ing. Rodrigo Alonso
Ing. Michelle Jackson

AUTORES:

Nicolás J. Tomazin
Mariano Re
Pablo E. García
Lucas Bindelli

DISEÑO GRÁFICO:

Lorena Vago

Agradecemos a Roberto Sciarrone, Germán Bértola, Juan Manuel Fernandez, Mariano Verón y Eduardo Di Loreto que acompañaron y colaboraron en todo el proceso de esta Asistencia Técnica

**CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA LITORAL EN LA COSTA MARÍTIMA BONAERENSE:
aportes hacia una gestión integrada / Nicolás Tomazin... [et al.]- 1a ed.-
Ezeiza : Instituto Nacional del Agua, 2020.
Libro digital, PDF**

Archivo Digital: descarga y online
ISBN 978-987-47387-1-4

1. Ingeniería Hidráulica. 2. Aguas Costeras. 3. Gestión Pública. I. Tomazin, Nicolás.
CDD 551.457



RESUMEN

Se resumen en este trabajo todas las actividades que resultaron en una caracterización de la dinámica litoral de la costa marítima bonaerense que permite aportar nuevos elementos para un enfoque de gestión costera integrada en la provincia.

A partir de datos e información recolectada y de resultados de modelaciones numéricas implementadas en este proyecto se actualizó el clima marítimo de la costa bonaerense, analizando variables como viento, niveles de marea y oleaje, y su vinculación con el cambio climático. Estos elementos permitieron caracterizar la dinámica litoral, contemplando aspectos geomorfológicos y de erosión costera, junto con el transporte de sedimentos y el impacto de eventos meteorológicos extremos y el cambio climático.

En este marco, se detallaron aportes a la gestión desde la perspectiva de la hidráulica costera, involucrando aspectos de la planificación y variadas intervenciones, tanto estructurales como no estructurales. Por último, se detalla una serie de herramientas de monitoreo de distintas variables, con diferentes alcances, costos y prestación, que colaboraría en un mejor seguimiento de la evolución de la dinámica litoral en el marco de una gestión costera integrada.

ÍNDICE

	Pág.
01. INTRODUCCIÓN	6
⊙ 1.1 PROBLEMA	7
⊙ 1.2 ASISTENCIA TÉCNICA	8
⊙ 1.3 APORTES A LA GESTIÓN	9
02. CLIMA MARÍTIMO DE LA COSTA BONAERENSE	10
⊙ 2.1 INTRODUCCIÓN	11
⊙ 2.2 VIENTO	13
⊙ 2.3 NIVELES	14
⊙ 2.4 OLEAJE	16
⊙ 2.5 CAMBIO CLIMÁTICO	19
03. CARACTERIZACIÓN DE LA DINÁMICA COSTERA	21
⊙ 3.1 INTRODUCCIÓN	22
⊙ 3.2 CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL LITORAL MARINO BONAERENSE	25
⊙ 3.3 CAUSAS DE LA EROSIÓN COSTERA	26
⊙ 3.3.1 TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	26
⊙ 3.3.2 CONSECUENCIAS DE EVENTOS METEOROLÓGICOS	33
⊙ 3.3.3 IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO	37
04. APORTES A LA GESTIÓN COSTERA INTEGRADA	39
⊙ 4.1 EVALUACIÓN DEL SISTEMA COSTERO	40
⊙ 4.2 PROBLEMÁTICA COSTERA EN LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES	43
⊙ 4.2.1 OBRAS DE DEFENSA COSTERA	46
⊙ 4.2.2 PUERTOS	47
⊙ 4.2.3 EFFECTOS DE LA URBANIZACIÓN	48
⊙ 4.2.4 DINÁMICA LITORAL	50
⊙ 4.2.5 CAMBIO CLIMÁTICO	51
⊙ 4.2.6 HIDROLOGÍA	52
⊙ 4.3 ACCIONES ORIENTADAS A UNA GESTIÓN INTEGRADA	53
⊙ 4.3.1 ESTRATEGIAS	53
⊙ 4.3.2 TIPOS DE INTERVENCIONES	55
OBRAS BLANDAS	55
RELLENOS ARTIFICIALES	56
SISTEMAS DE BY-PASS DE ARENA	58
DEFENSAS DUNARES	60
OBRAS DURAS	61
⊙ 4.4 MANEJO COSTERO INTEGRADO EN BUENOS AIRES	63

	Pág.
05. HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN COSTERA	66
⊙ 5.1 MODELOS NUMÉRICOS	67
⊙ 5.1.1 MODELOS DESARROLLADOS PARA LA DPH	67
⊙ 5.1.2 OTRAS POSIBILIDADES DE MODELACIÓN	72
⊙ 5.2 ATLAS DE RIESGO	73
⊙ 5.3 MONITOREO CONTINUO	78
⊙ 5.3.1 HIDRODINÁMICA	78
⊙ 5.3.2 TOPOBATIMETRÍAS	80
PERFILES DE PLAYA	80
BATIMETRÍAS	81
SEDIMENTOS	82
⊙ 5.3.3 OTRAS ALTERNATIVAS DE OBSERVACIÓN	82
INSTRUMENTACIÓN <i>IN SITU</i>	82
IMÁGENES SATELITALES	83
VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT)	84
VIDEO MONITOREO	85
OBSERVACIÓN CIUDADANA	86
⊙ 5.4 BASE DE DATOS	87
⊙ 5.5 OTRAS HERRAMIENTAS	88
 06. SÍNTESIS	 90
SÍNTESIS	91
 REFERENCIAS	 95
INFORMES DE LA ASISTENCIA TÉCNICA	95
OTRAS REFERENCIAS	96



01.

INTRODUCCIÓN

1.1 | PROBLEMA

La costa oceánica de la provincia de Buenos Aires presenta gran diversidad de playas a lo largo de sus 600 km, con diferentes regímenes de oleaje, mareas, y con composiciones granulométricas y morfológicas variables. Entre San Clemente del Tuyú, al NE, y Pehuen C6, al SO, se concentran más de 30 localidades balnearias que pertenecen a 13 partidos de la provincia (**Figura 1.1**). Los municipios presentan importantes diferencias en cuanto a cantidad de población y actividades económicas. Principalmente se destacan actividades asociadas al turismo y actividades comerciales vinculadas al movimiento de los puertos.

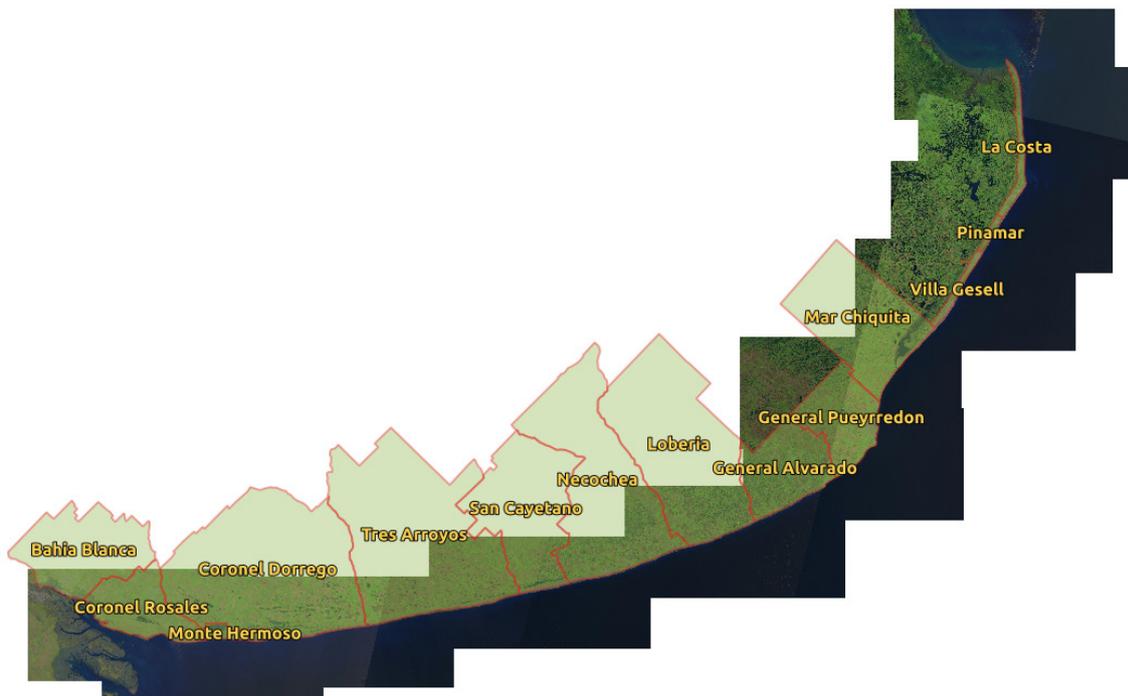


Figura 1.1. Partidos del litoral marítimo de la provincia de Buenos Aires.

Esta región litoral se ve afectada por numerosos problemas ambientales y climáticos, principalmente debidos a la erosión costera. Las actividades antrópicas como la construcción de defensas costeras, el crecimiento urbano sobre estructuras medianosas y la extracción de arena sin un apropiado manejo han agravado los procesos erosivos y acrecentado la vulnerabilidad frente al cambio climático.

La constante acción del oleaje y el impacto de los eventos de tormenta severos son los responsables primarios de la dinámica erosiva de la costa bonaerense. Estudios referidos a obras puntuales como la instalación de rompeolas para prevenir erosión en la zona de acantilados en Mar del Plata, la ejecución de defensas costeras para protección de rutas o los planes de modificación de una de las escolleras del Puerto de Mar del Plata refuerzan la necesidad de contar con un manejo costero integrado y planificado. Resulta en este contexto que se plantea la preocupación de la provincia de Buenos Aires respecto de la vulnerabilidad de la costa ante las distintas amenazas que afectarían su dinámica en el marco del cambio climático.

1.2 | ASISTENCIA TÉCNICA

El análisis de los procesos costeros naturales (meteorología, climatología, hidrodinámica y morfología) en relación a los cambios en las actividades humanas y del uso/cobertura del suelo, resulta un insumo necesario para el estudio del riesgo a la erosión costera de manera integral y la generación de información necesaria para la concreción de un plan integrado de manejo costero bonaerense.

En este marco, el Departamento Costa Marítima de la Dirección Provincial de Hidráulica (DPH, Ministerio de Infraestructura y Servicios de la provincia de Buenos Aires) solicitó la Asistencia Técnica a CTCN (*Climate Technology Center & Network*), que es el brazo operativo del Mecanismo de Tecnología de la *United Nations Framework Convention on Climate Change* (UNFCCC) y está gestionado por *United Nations Environment Programme* (UNEP) y por *United Nations Industrial Development Organization* (UNIDO). Esta asistencia plantea dos objetivos generales:

- i)** diagnosticar el estado actual de la dinámica en la costa oceánica de la provincia, e
- ii)** implementar un mapa de riesgo frente al cambio climático y delinear sugerencias de manejo costero, para utilizar como insumo en la ejecución de un Plan de Manejo Integral Estratégico de la costa bonaerense a desarrollarse a futuro.

Entre los objetivos específicos a alcanzar por esta Asistencia Técnica se presentan los siguientes:

- i)** determinar los cambios acontecidos en la dinámica costera durante las últimas décadas (nivel del mar, oleaje, viento, cambios morfológicos),
- ii)** estimar a partir de proyecciones de cambio climático los posibles escenarios costeros futuros, y
- iii)** desarrollar labores de transferencia tecnológica, capacitación y formación asociadas al proyecto.

Entre los principales productos de esta asistencia se destacan la puesta en valor de las herramientas de modelación numérica del solicitante, la capacitación y entrenamiento en el manejo de las mismas y la elaboración de recomendaciones de manejo costero para la costa oceánica de Buenos Aires.

Esta Asistencia Técnica se lleva a cabo con los equipos profesionales de la Subgerencia Laboratorio de Hidráulica (LHA) del Instituto Nacional del Agua (INA) de Argentina y el Instituto de Mecánica de Fluidos e Ingeniería Ambiental (IMFLA) de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de la República (Udelar) de Uruguay.

1.3 | APORTES A LA GESTIÓN

Las experiencias internacionales sobre el Manejo Costero Integrado (MCI) demuestran que para que este proceso sea llevado a cabo con éxito (Silva Casarín et *al.*, 2014), resulta necesario contar con:

- i)** una sólida información de base (datos y mediciones de procesos naturales, sociales y económicos) que pueda ser fuente de indicadores,
- ii)** establecer metas y delinear políticas basadas en procesos participativos, y
- iii)** contar con medios (legales, institucionales, técnicos, financieros y humanos) para llevar adelante las metas y políticas establecidas.

Apuntando a fortalecer el primero de estos aspectos y respondiendo a las demandas formuladas en los objetivos generales de la Asistencia Técnica aquí planteada, se desarrolla esta caracterización de la dinámica litoral de la costa marítima como aporte a un Plan de Manejo Costero Integrado a desarrollar en la provincia de Buenos Aires.

El contenido de este trabajo se concentra en la presentación de los productos y herramientas desarrollados para diagnosticar el estado actual de la dinámica en la costa oceánica de la provincia. Entre estos elementos, se destacan la implementación de un mapa de riesgo de la costa marítima bonaerense frente al cambio climático y una serie de sugerencias de manejo costero, asociadas a las posibilidades que ofrece esta caracterización para aportar a planes integrales futuros. Además, se considera que los reanálisis de las variables de la dinámica costera y los modelos numéricos regionales y locales aquí implementados, se constituyen también como herramientas indispensables para apuntalar diagnósticos integrales de este tramo costero.



02.

**CLIMA MARÍTIMO
DE LA COSTA
BONAERENSE**

2.1 | INTRODUCCIÓN

Para avanzar hacia una sólida información de base que pueda ser fuente de indicadores en el marco de un proceso de Manejo Costero Integrado (MCI) de la costa de la provincia de Buenos Aires, se trabajó fuertemente en la caracterización del clima marítimo de la región.

Específicamente, a partir de la utilización de herramientas de modelación numérica, observaciones puntuales y observaciones remotas se realizó un reanálisis o análisis retrospectivo (*hindcast*) de las principales variables de la hidrodinámica del tramo costero en estudio.

A partir de este reanálisis surgió el producto Boyas Virtuales, herramienta indispensable para la caracterización del clima marítimo bonaerense consistente en series de las variables referidas a viento (intensidad y dirección), niveles y oleaje (altura significativa de ola, período, dirección media, entre otras), concentrada en puntos ficticios en dos alineamientos diferentes: 55 boyas virtuales ubicadas a 13 km de la costa separadas unos 10 km entre sí (BV-A) y 12 boyas virtuales ubicadas a 35 km de la costa con una separación de unos 50 km (BV-B) (**Figura 2.1**). En estos puntos se logró reconstruir la información del clima marítimo generando series de varios años: período 1985-2016 para los niveles y 1979-2018 para el oleaje y el viento. Por lo tanto, todo el análisis de la dinámica costera que se realiza en este trabajo se genera a partir de esta información. Cabe destacar que estos datos sólo son válidos para la ubicación de cada una de las boyas virtuales, no debiéndose asumir que son válidos para la costa, a pesar de que resultan determinantes para establecer valores de estas variables en la línea costera.

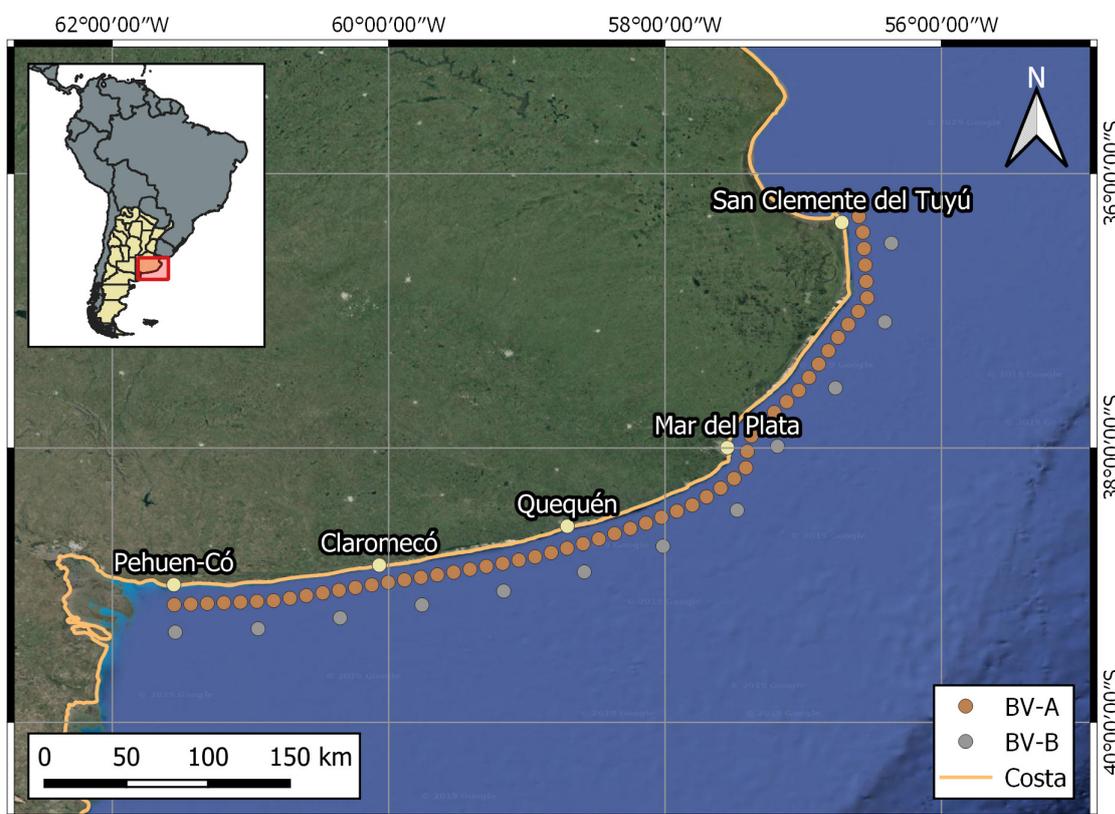


Figura 2.1. Localización de las boyas virtuales.

Para una mejor comprensión de las características de las variables de la dinámica costera marítima de la provincia de Buenos Aires, se estableció una zonificación basada en el análisis del clima de olas a lo largo de toda la franja costera en estudio (INA-UdelaR, 2019e). La **Figura 2.2** muestra los tres sectores en los que se dividió la región estudiada: *Sector Noreste*, entre los partidos de La Costa y Mar Chiquita; *Sector Central*, entre los partidos de General Pueyrredón y San Cayetano; y el *Sector Sudoeste* entre los partidos de Tres Arroyos y Coronel Rosales. Además, se indican las principales boyas de referencia para cada municipio.

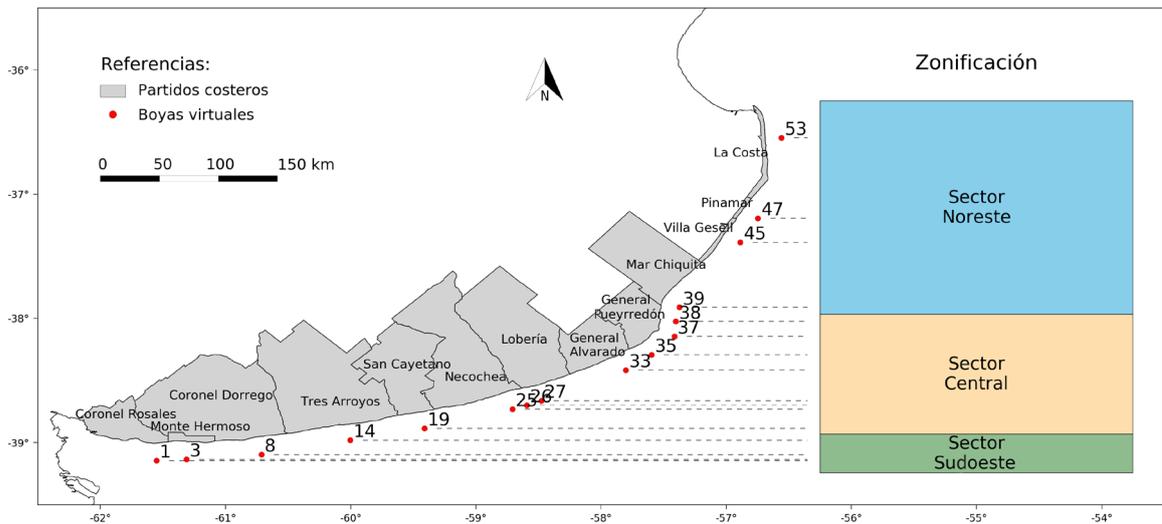


Figura 2.2. Zonificación de la costa marítima de la Provincia de Buenos Aires y boyas virtuales de referencia para los municipios.

A pesar de alinearse aproximadamente en un mismo frente costero, las boyas virtuales se encuentran a diferentes profundidades. Este detalle resulta importante para los análisis a realizar con esta información. En la **Figura 2.3** se muestran las profundidades de cada una de las boyas virtuales de referencia, en donde puede verse como los *sectores Noreste* y *Sudoeste* presentan valores de entre 10 y 15 m, mientras que en el Central presentan mayores variaciones, incluidas en el rango de 15 a 45 m.

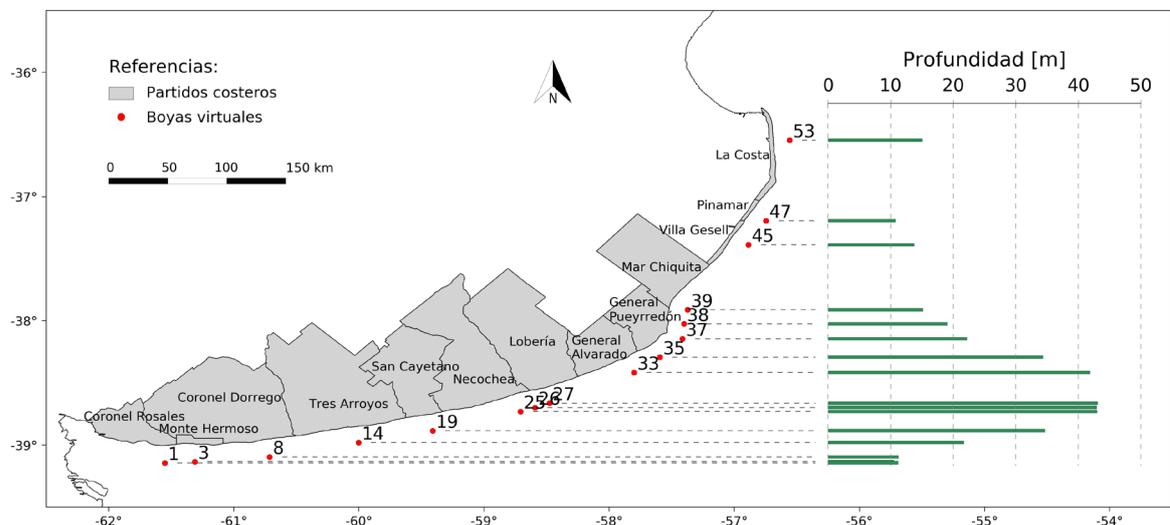


Figura 2.3. Profundidades de las boyas virtuales de referencia.

A continuación, se presentan los principales resultados obtenidos del diagnóstico realizado a partir de los resultados del análisis retrospectivo (*hindcast*) de las principales variables de la hidrodinámica costera marítima de Buenos Aires: viento, niveles (estadística y ocurrencia de ondas de tormenta) y oleaje (INA-UdelaR, 2019e). Luego, se presentan las proyecciones de cambio climático para las medias de estas variables en la región (INA-UdelaR, 2020a). Toda esta información utilizada para el análisis, se encuentra libremente disponible en el geportal del Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la provincia de Buenos Aires y dentro de la oferta de recursos geográficos del Instituto Nacional del Agua.

2.2 | VIENTO

Las series de viento construidas para la costa marítima bonaerense correspondientes al período 1979-2018 se basaron en información tomada de los reanálisis de *Climate Forecast System Reanalysis* (CFSR, EEUU) y validada a partir de observaciones remotas (radares altimétricos) y mediciones *in situ* (Torre Mareográfica Bahía Blanca y Puerto Quequén) (INA-UdelaR, 2019e).

Las intensidades de mayor ocurrencia se ubican en el rango 5 a 10 m/s (**Figura 2.4**), con una permanencia del 70% del tiempo para toda la línea costera analizada. Los vientos más intensos presentan una incidencia de alrededor 10%, ubicándose dentro del rango de 10 a 15 m/s, siendo los vientos superiores a los 15 m/s de muy baja ocurrencia.

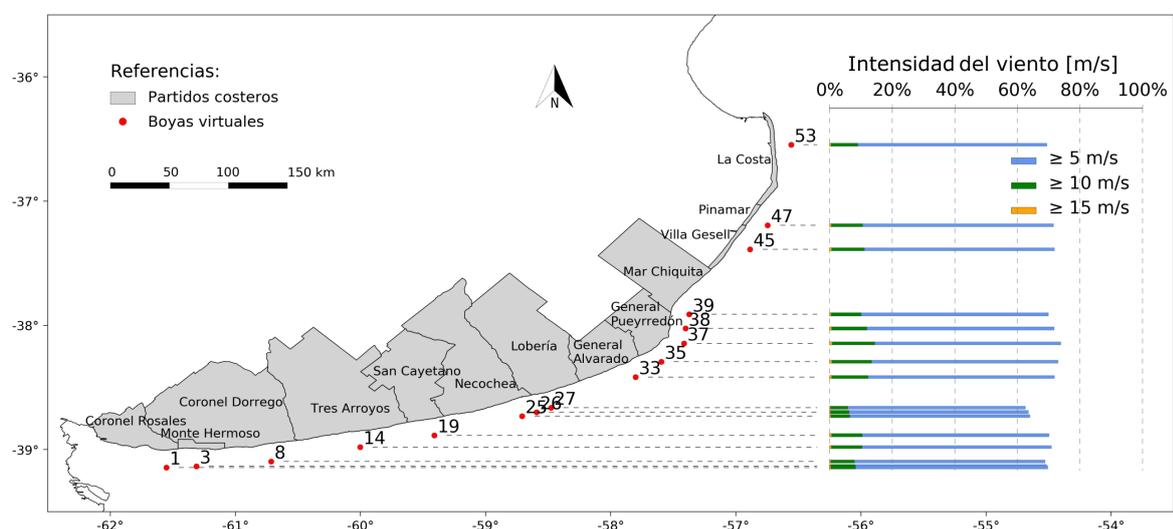


Figura 2.4. Velocidad del viento en las boyas virtuales de referencia (período 1979-2018).

En cuanto a la dirección del viento, se observa que a lo largo de la costa hay al menos tres componentes que se encuentran en permanencias de entre el 10% y el 20% (**Figura 2.5**). Sin embargo, estas componentes no son las mismas para todos los partidos costeros. La componente NW (noroeste) tiene su mayor predominancia en el *sector Sudoeste* y disminuye progresivamente hacia el *sector Noreste*. Lo mismo ocurre con la componente N (norte), aunque con menores variaciones en sus valores de permanencia. En contraposición, la componente NE (noreste) aumenta su incidencia de sur a norte en el tramo costero

estudiado, lo que refleja una rotación del viento en sentido antihorario del oeste hacia el norte a medida que se va desde el *sector Sudoeste* hacia el *sector Noreste*. Esto, además, se observa en la elevada permanencia (15%) de la componente W (oeste), presente únicamente en los partidos de Coronel Rosales y Monte Hermoso. La componente S (sur) sólo aparece como relevante en los partidos del *sector Noreste* (La Costa y Pinamar), región en la que las componentes del E (este) y del S (sureste) no figuran como componentes de permanencia relevante, sino que se ponen de manifiesto durante los eventos de tormenta.

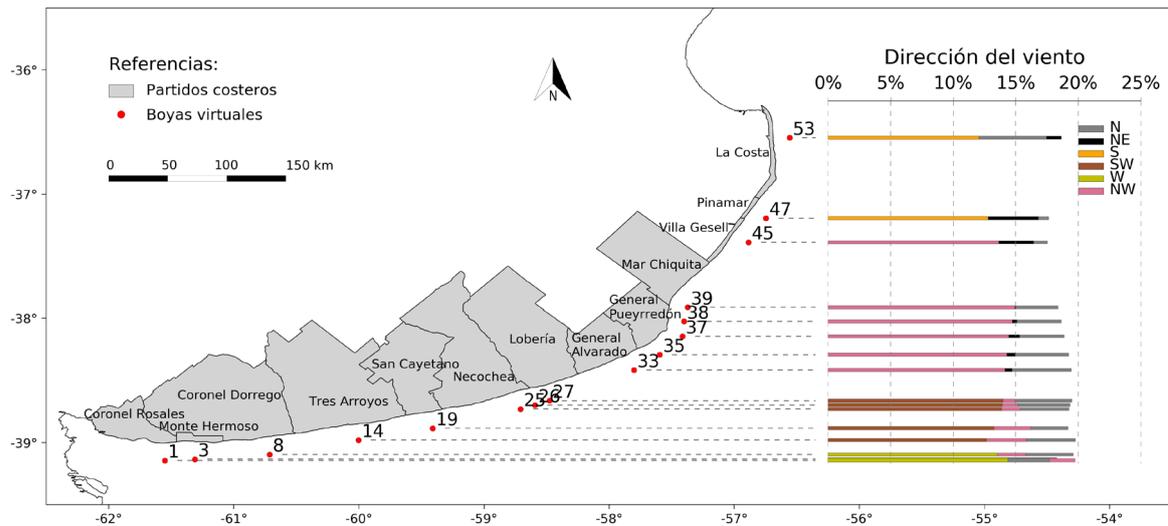


Figura 2.5. Dirección del viento en las boyas virtuales de referencia (período 1979-2018).

2.3 | NIVELES

Las series de niveles construidas para la costa marítima bonaerense correspondientes al período 1985-2016 se basaron en resultados de modelación numérica, siguiendo una estrategia de modelos anidados en donde un modelo cuyo dominio resulta el océano Atlántico Sur da condiciones de borde a un modelo de escala regional que incluye a toda la zona de estudio. Estos modelos numéricos fueron calibrados y validados con la información existente de niveles observados (San Clemente, Mar del Plata, Puerto Quequén y Puerto Belgrano). Para una validación adicional se compararon los resultados de las simulaciones con los datos existentes de sensores remotos (radares altimétricos). Las series obtenidas contemplan tanto la marea astronómica como la meteorológica (INA-UdelaR, 2019e).

El nivel medio del mar presenta valores prácticamente constantes a lo largo de toda la costa, ubicándose a +0,91 metros respecto del plano de referencia (cero del Puerto de Mar del Plata). En la **Figura 2.6** se observa un leve aumento progresivo del nivel medio recorriendo la costa de Sur a Norte, con valores de +0,91 m en la zona de Mar del Plata.

Respecto a los valores máximos, estos también son más importantes hacia el Sur (en donde superan la cota +3,00 m), manteniéndose constantes en la zona central y disminuyendo levemente hacia el Norte. Como resultado, en la zona central se dan las menores amplitudes, mientras que, hacia el Norte y principalmente hacia el Sur, estas aumentan. Una parti-

cularidad a tener en cuenta para los niveles de marea de este tramo de costa es que durante el 90% del tiempo los niveles no superan la cota +2,00 m. Los niveles mínimos alcanzados presentan valores mayores a ambos extremos del tramo San Clemente del Tuyú – Pehuén C , superando la cota de -1,00 m hacia la zona Sudoeste.

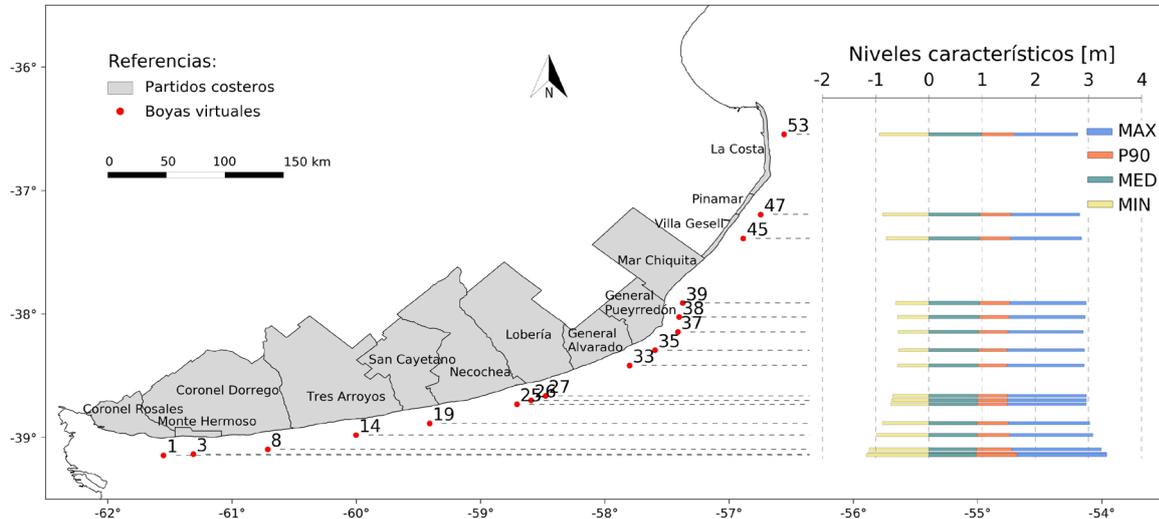


Figura 2.6. Niveles característicos de marea en las boyas virtuales de referencia (período 1985-2016).

Otro dato de interés es que, tanto para niveles medios, como para niveles máximos y mínimos, las variaciones a lo largo de la costa no superan nunca el metro de diferencia, haciendo de estas costas una zona más bien regular en cuanto al nivel del mar.

Otro análisis importante vinculado a los niveles de marea es el referido a la ocurrencia de ondas de tormenta. Aplicando un criterio de corte para su detección y considerando sólo aquellos eventos que presenten una onda de marea meteorológica superior a los 2 m respecto del plano de referencia, resulta que el tramo de costa estudiado recibe en promedio un evento de estas características por año. La máxima cantidad de ondas de tormenta de este tipo por año (comúnmente denominadas sudestadas, aunque el viento que las fuerza no provenga directamente del sudeste), es de 4 para los sectores *Noreste* y *Sudoeste*, y de 3 para el sector *Central* (Figura 2.7).

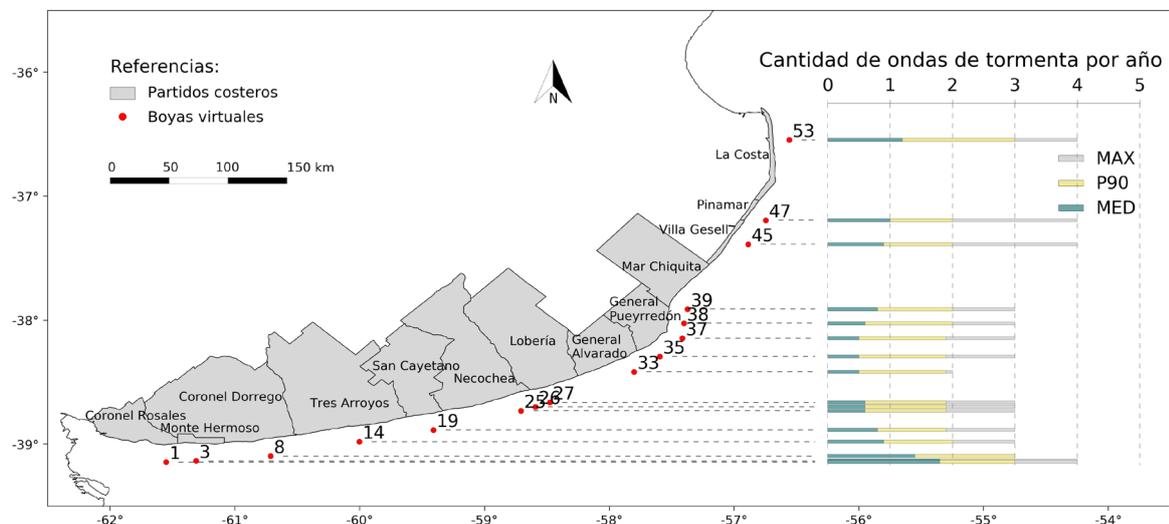


Figura 2.7. Cantidad de ondas de tormenta por año (marea meteorológica superior a 2m, período 1979-2018).

En cuanto a la duración de estos eventos de tormenta resulta que a lo largo de este tramo de costa entre el 70% y el 80% de los eventos se encuentra en el rango 36-84 horas (**Figura 2.8**). Por otro lado, se observa que las boyas ubicadas más hacia el Sur presentan duraciones de eventos de tormenta menores.

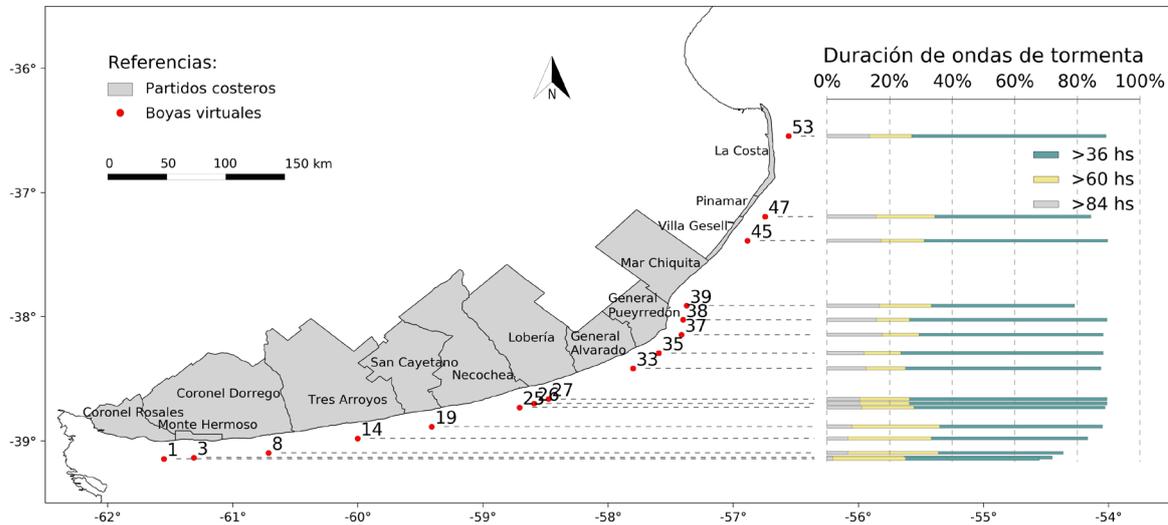


Figura 2.8. Duración de ondas de tormenta (período 1979 - 2018).

2.4 | OLEAJE

Las series de las variables de oleaje (altura significativa de ola, dirección media y período, entre otras) construidas para la costa marítima bonaerense correspondientes al período 1979-2018 se basaron en resultados de modelación numérica, siguiendo una estrategia de modelos anidados (un modelo global, uno del océano Atlántico Sur y otro de la región costera de la provincia de Buenos Aires). Estos modelos numéricos que fueron calibrados y validados con información de altimetría satelital (radares altimétricos) y unos pocos datos de observación directa (Punta Médanos, Frente Marítimo del Río de la Plata, Torre Mareográfica Bahía Blanca y Puerto Quequén) (INA-UdelaR, 2019e).

La altura significativa de ola, tal como se observa en la **Figura 2.9**, presenta una distribución con una forma similar a la correspondiente a las profundidades de las boyas virtuales (ubicadas a una distancia aproximada de 15 km de la costa). Esto refleja la relación que hay entre ambos parámetros: a menor profundidad, mayor disipación de energía y menor altura de ola.

Tanto para los sectores *Noreste* y *Sudoeste*, las alturas predominantes son menores a 1.5 m. En el sector *Central*, en especial en los partidos de General Alvarado y General Pueyrredón, las alturas significativas de ola se vuelven más importantes, mayores a 1,5 m en más de un 40% del tiempo y con olas que alcanzan los 2,5 m con una ocurrencia del 10% del tiempo aproximadamente.

Respecto de la dirección del oleaje, en todo el tramo costero estudiado las direcciones del

S (sur), SE (sureste) y E (este) ocurren con frecuencias predominantes (**Figura 2.10**). Sin embargo, tanto al norte del sector *Noreste*, como al sur del sector *Sudoeste* aparece la influencia de las direcciones del NE (noreste) y NW (noroeste) respectivamente.

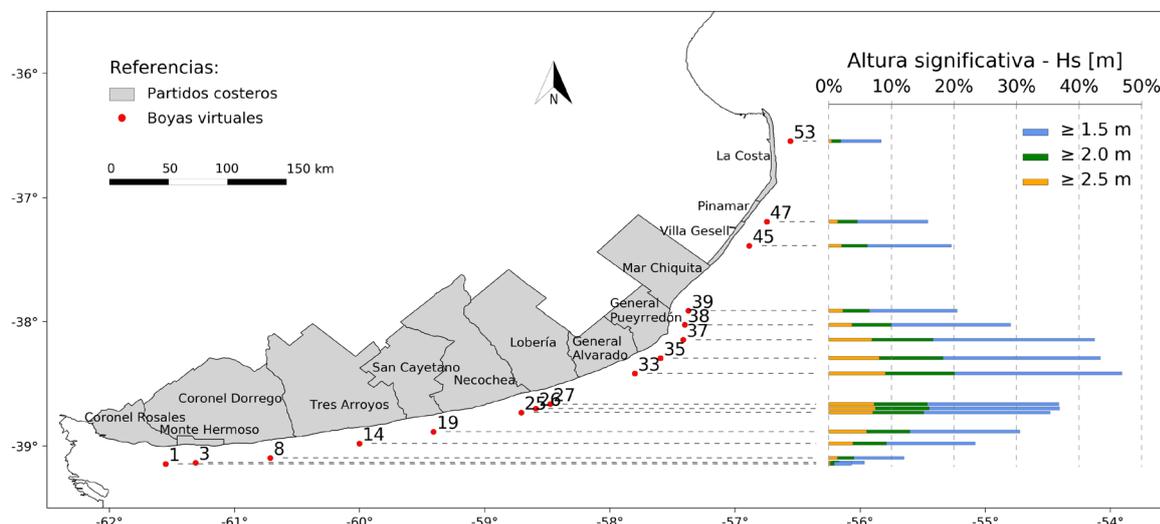


Figura 2.9. Altura significativa de ola (período 1979-2018).

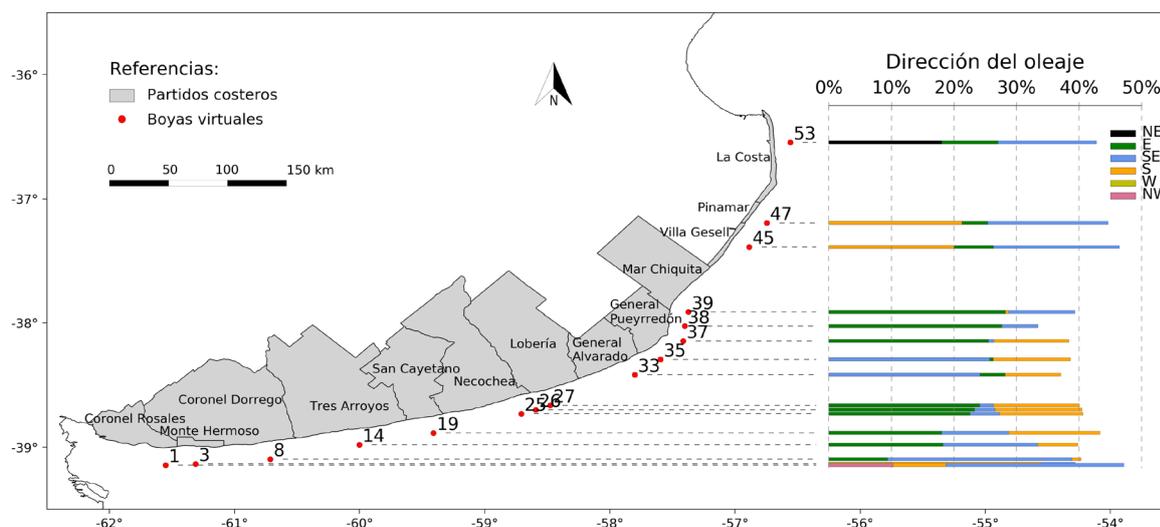


Figura 2.10. Dirección del oleaje (período 1979 - 2018).

En cuanto al período de ola, prácticamente la totalidad del oleaje se ubica en el rango de 6 a 14 segundos, con mayor predominancia del intervalo de 6 a 10 (**Figura 2.11**). Las olas con período mayor a 14 segundos tienen una frecuencia prácticamente despreciable. Por su parte, los períodos menores a los 6 segundos tienen mayor incidencia tanto hacia el extremo norte como hacia el extremo sur del tramo estudiado, en donde se alcanzan frecuencias del 50% del tiempo.

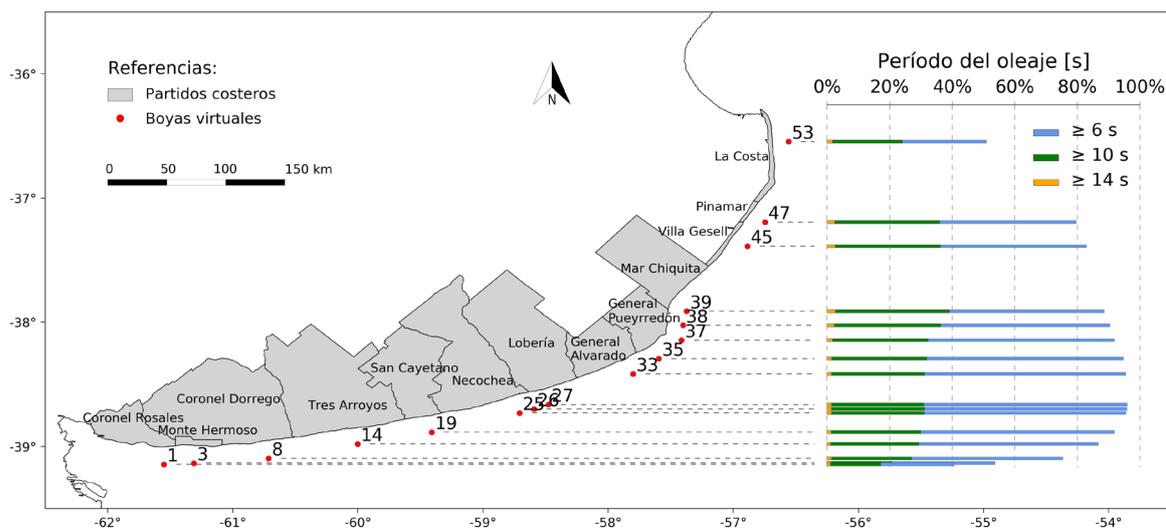


Figura 2.11. Período del oleaje (período 1979 - 2018).

Como complemento de lo anterior, en la **Tabla 2.1** se presentan los valores extremos de altura significativa de ola (H_s) asociado a diferentes períodos de retorno para las boyas virtuales de referencia. Se observa que la distribución de la altura significativa de ola a lo largo de la costa tiene el mismo comportamiento que para el período 1979-2018, con mayores valores en el *sector Central*.

Tabla 2.1. Altura significativa de ola (en metros) según período de retorno.

BV	Prof [m]	Distancia a la costa [m]	Partido de referencia	Período de retorno - T_r [años]					
				2	5	10	20	50	100
1	11,2	15600	Cnel. Rosales	2,95	3,30	3,48	3,62	3,76	3,85
3	10,5	15700	Monte Hermoso	3,28	3,63	3,82	3,96	4,10	4,19
8	11,3	15500	Cnel. Dorrego	3,64	3,64	3,64	3,64	4,26	4,33
14	21,7	13900	Tres Arroyos	4,84	5,46	5,87	6,26	6,77	7,15
19	34,7	14400	San Cayetano	5,50	6,21	6,68	7,13	7,72	8,16
25	43,0	15500	Necochea	5,62	6,47	7,04	7,58	8,28	8,81
26	43,0	15500	Necochea	5,72	6,60	7,18	7,74	8,46	9,00
27	43,1	14000	Lobería	5,65	6,55	7,14	7,71	8,44	8,99
33	41,9	14300	Gral. Alvarado	5,96	6,98	7,65	8,29	9,13	9,75
35	34,3	12600	Gral. Pueyrredón	5,74	6,72	7,37	7,99	8,80	9,40
37	22,2	12500	Gral. Pueyrredón	5,31	6,20	6,79	7,36	8,09	8,64
38	19,1	10700	Gral. Pueyrredón	4,51	5,17	5,61	6,03	6,57	6,98
39	15,2	13100	Mar Chiquita	4,03	4,46	4,70	4,89	5,10	5,24
45	13,8	13600	Villa Gesell	3,96	4,34	4,53	4,69	4,86	4,96
47	10,8	12700	Pinamar	3,64	3,91	4,03	4,11	4,18	4,22
53	15,1	11600	Partido de La Costa	3,24	3,67	3,92	4,16	4,43	4,63

2.5 | CAMBIO CLIMÁTICO

En este trabajo se estudiaron las proyecciones de cambio climático para las variables que principalmente determinan la dinámica marítima costera (oleaje y marea meteorológica) y para el nivel medio del mar, a lo largo de todo el tramo de estudio. Este análisis incluye proyecciones que abarcan un horizonte temporal que va hasta el final del siglo XXI.

Las proyecciones de oleaje y marea meteorológica se realizaron a partir de la información generada y distribuida en el marco del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (*Coupled Model Intercomparison Project 5, CMIP5*), auspiciado por el Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC), aplicando técnicas de reducción de escala de tipo estadística (*downscaling* estadístico) a las proyecciones globales. La estimación de las tendencias regionales de cambio en el nivel medio de mar a lo largo del siglo XXI se obtuvo directamente de los datos de acceso público utilizados para la elaboración del Capítulo 13 del informe IPCC AR5 y su material complementario (IPCC, 2013).

Los escenarios para las proyecciones climáticas se basan en la caracterización de las emisiones antropógenas de gases de efecto invernadero (GEI), que dependen principalmente de la cantidad de población, la actividad económica, el estilo de vida, el uso de la energía, el uso del suelo, la tecnología y la política climática. Las trayectorias de concentración representativas (RCP), utilizadas para hacer proyecciones basadas en estos factores, muestran cuatro opciones diferentes para el siglo XXI: un escenario de mitigación estricto (RCP2.6), dos escenarios intermedios (RCP4.5 y RCP6.0), y un escenario con un nivel muy alto de emisiones de gases de efecto invernadero (RCP8.5). En este trabajo se utilizaron los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 por ser representativos de una situación intermedia y una severa, con el objetivo de obtener resultados conservadores.

La estrategia de reducción de escala de tipo estadística (*downscaling* estadístico) de las variables de oleaje y marea meteorológica se realizó utilizando las simulaciones de 30 modelos de circulación general o modelos climáticos globales (GCM, por su sigla en inglés) basadas en las proyecciones de los escenarios seleccionados.

Para ajustar los parámetros del *downscaling* estadístico para toda la costa marítima de Buenos Aires, se analizaron los patrones de circulación y estadísticos asociados de la boya virtual representativa de Necochea (BV 25), considerando un período de calibración (1980-2006) y uno de validación (2006-2016). Luego, con esa combinación de parámetros adoptada, se realizó el *downscaling* de cada una de las boyas virtuales de toda la costa marina bonaerense.

Como resultado de esta reducción de escala de las proyecciones de oleaje y marea meteorológica para los escenarios mencionados, se observa que se presentan variaciones muy bajas en estas variables resultando en cambios no significativos (inclusive para el escenario severo RCP8.5) (INA-UdelaR, 2020a).

Para las proyecciones de nivel medio del mar, considerando los escenarios climáticos

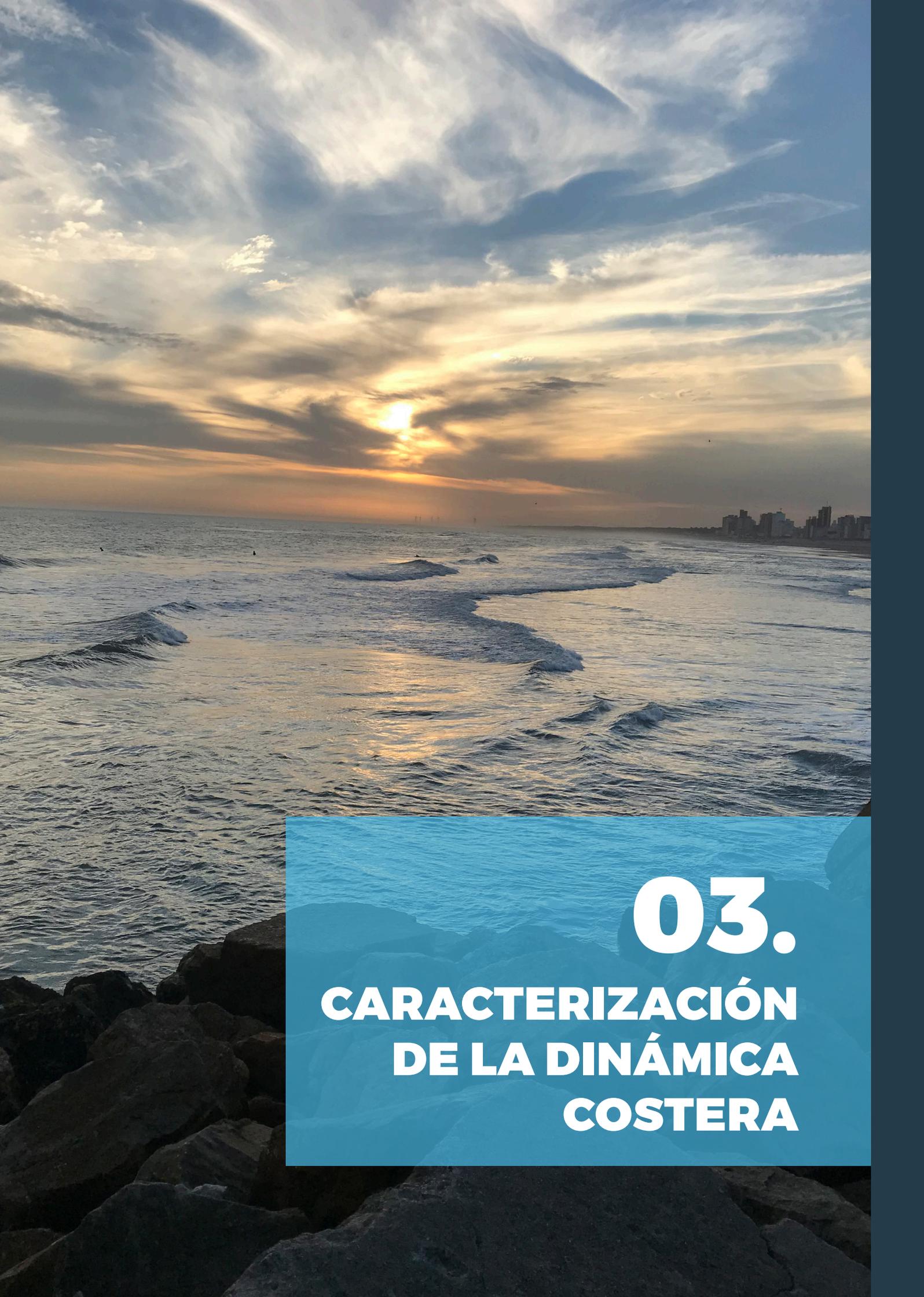
RCP4.5 y RCP8.5, se utilizaron los resultados de las simulaciones de 21 modelos climáticos globales (GCM). El dominio de estos resultados es global (resolución de 1°), por lo tanto solo se obtuvieron las series temporales de aumento del nivel medio del mar en nueve puntos representativos de toda la extensión de la costa marítima de la provincia de Buenos Aires.

Las proyecciones estimadas de aumento de nivel medio del mar en la costa marítima bonaerense son significativas, del orden de 20 cm para mediados del siglo XXI y en el rango 30-100 cm para finales del siglo XXI, según qué escenario se considere. Si se analiza el caso más desfavorable, se espera que para 2045 el aumento promedio del nivel medio del mar sea de 20 cm, mientras que para 2100, este sea de 70 cm (**Tabla 2.2**).

Tabla 2.2. Resumen de proyecciones de Cambio Climático para el nivel medio del mar [NMM] en la costa marítima bonaerense.

Proyección	Límite inferior	Valor medio	Límite superior
Aumento NMM a 2045 (RCP4.5) [cm]	10	17	26
Aumento NMM a 2100 (RCP4.5) [cm]	28	47	69
Aumento NMM a 2045 (RCP8.5) [cm]	12	19	28
Aumento NMM a 2100 (RCP8.5) [cm]	42	69	103

Estos resultados son consistentes con los obtenidos para la costa de Uruguay presentados en IH-Cantabria (2019), donde las proyecciones de cambio del oleaje y la marea meteorológica, si bien son significativas en algunos casos, son de magnitud tal que resultan despreciables al contrastarlas con las proyecciones de aumento del nivel medio del mar (y sus consecuencias). A su vez, los resultados de las proyecciones de oleaje son coherentes con las presentadas por Morim *et al.* (2019), donde se analizan proyecciones de cambio del oleaje obtenidas por varias instituciones mediante variadas metodologías. La principal contribución a estos cambios está dada por el componente asociado a los procesos oceánicos.



03.

**CARACTERIZACIÓN
DE LA DINÁMICA
COSTERA**

3.1 | INTRODUCCIÓN

La dinámica litoral comprende un conjunto de procesos físicos generados por la interacción de los agentes climáticos marinos con el borde costero, transformándolo continuamente. Dentro de este esquema, la acción de olas, vientos y mareas constituyen el motor para el desarrollo de los mecanismos de transporte de los sedimentos que se encuentran disponibles en el área de costa.

En consecuencia, el estudio de la dinámica costera de un determinado lugar requiere en primera instancia el conocimiento adecuado del clima marino del área de estudio. En segundo lugar, es necesario contar con una buena caracterización del material sedimentario presente en la zona, identificando tanto sus características granulométricas como sus fuentes de origen, los cuales pueden ser: terrestre (por aportes fluviales), marino (degradación de acantilados), biológico (aportes de estructuras coralinas y conchas de moluscos), o humana (alimentación artificial en zonas de relleno).

A partir de estos dos elementos es posible efectuar el estudio del movimiento de los sedimentos sobre la franja costera, conocido como transporte sólido litoral.

Dada una incidencia oblicua del oleaje sobre la costa, se genera un desplazamiento de material sedimentario en dos direcciones: una componente paralela a la línea de costa y otra componente orientada transversalmente a la misma. A éstos se los denomina respectivamente *transporte sólido longitudinal* Q_l y *transporte sólido transversal* Q_t (**Figura 3.1a**).

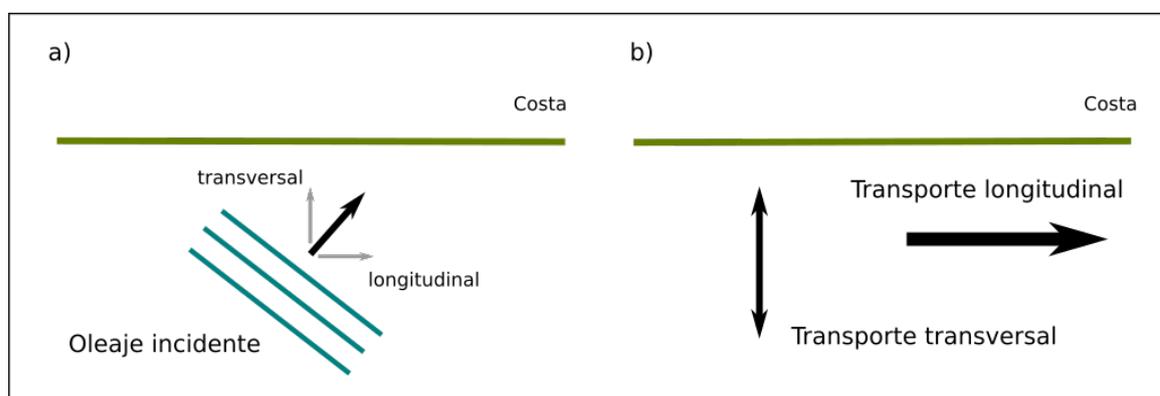


Figura 3.1. Caracterización del transporte de sedimentos.

El transporte longitudinal cambia de dirección cuando varía la dirección de incidencia del oleaje respecto de la perpendicular a la costa, mientras que el transporte transversal resulta oscilante con una misma dirección de incidencia: hacia la costa y hacia el mar, respectivamente (**Figura 3.1b**).

La importancia del estudio del transporte longitudinal se debe a que éste es el que define en mediano/largo plazo (escala de meses/años) la forma en planta de las playas, debido a que en presencia de obstáculos (naturales o artificiales) su alteración provoca zonas de acumulación (avance de la línea de costa) o erosión (retroceso de la línea de costa), según sea el signo del desbalance generado.

La fluctuación en el sentido de circulación de los sedimentos originado a lo largo del tiempo por el clima de olas de un determinado lugar provoca la existencia de un transporte *longitudinal bruto* (Q_B), en el cual se computa la totalidad del sedimento que circula en forma paralela a la costa en ambos sentidos, y un transporte *longitudinal neto* (Q_N), el cual se obtiene por la diferencia entre las cantidades que circulan hacia la derecha y hacia la izquierda durante un período de tiempo determinado. La **Figura 3.2** muestra dos ejemplos de tendencias de evolución de la línea de costa debido a la interacción del transporte longitudinal de sedimentos con estructuras costeras. El caso a) ilustra la acumulación generada por un espigón perpendicular a la costa en presencia de un transporte longitudinal neto Q_N en el sentido señalado. El caso b) muestra la alteración en la línea de costa inducida por un espigón paralelo a la misma, señalando zonas con tendencia a la erosión y acumulación de material, respectivamente.

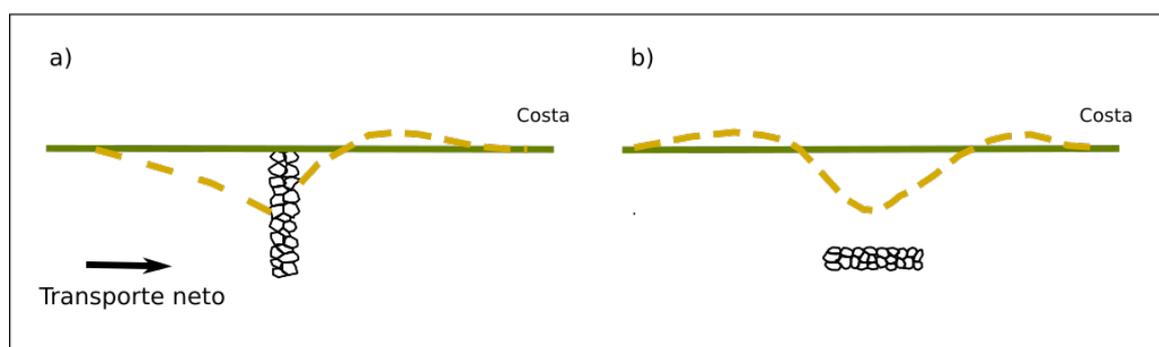


Figura 3.2. Formaciones costeras debido al transporte longitudinal.

El transporte transversal de los sedimentos es el mecanismo por el cual se establece fundamentalmente el equilibrio del perfil de una playa, siendo responsable de los cambios estacionales que sobre éste se producen.

La acción de los temporales, caracterizados por una importante sobreelevación del nivel del mar y un fuerte oleaje, promueve la remoción de material en la parte alta de la playa y lo deposita en sectores sumergidos del perfil, acumulándolo en forma de barras. Estos procesos de corta duración (escala de horas/días) pueden generar grandes modificaciones removiendo volúmenes importantes de arena de la zona de berma y dunas (**Figura 3.3**).

En casos en los que no existen intervenciones antrópicas sobre el área costera que constituyan una alteración del perfil y su equilibrio natural, el proceso es reversible gracias a la acción del oleaje. Esto se debe fundamentalmente a la acción del *swell* (o mar de fondo), con capacidad de transportar nuevamente hacia el sector de bermas el material depositado en la zona sumergida mediante los distintos mecanismos de transporte ilustrados en la **Figura 3.4**. Este mecanismo de recuperación resulta más lento que el de remoción, generado por la acción de los temporales, pudiendo demorar algunos meses para completar la reconstrucción del perfil.

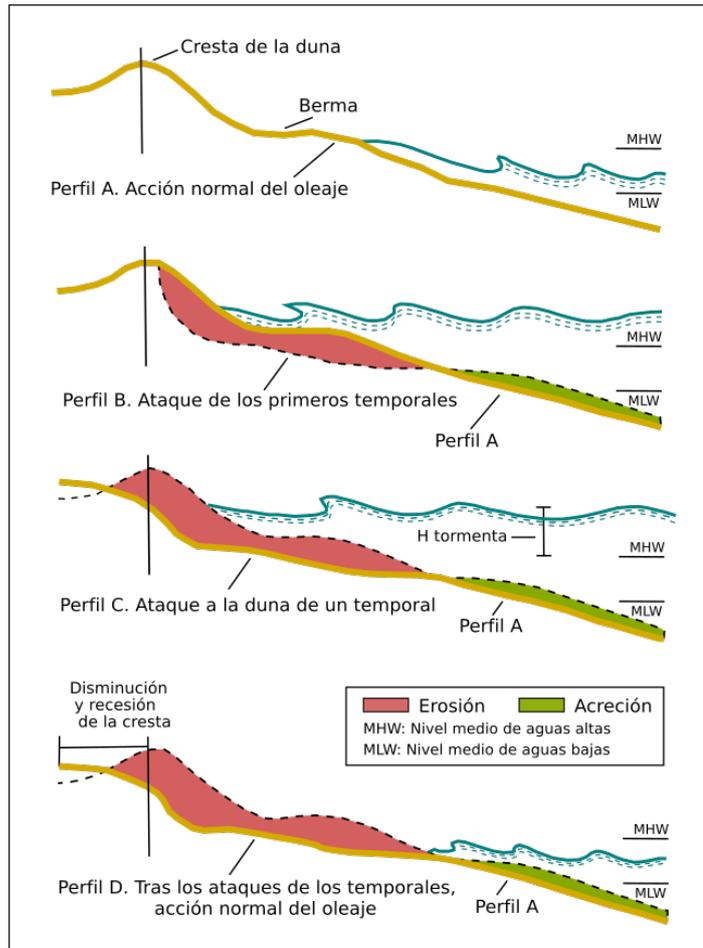


Figura 3.3. Acción del transporte transversal. Variaciones estacionales del perfil de playa (adaptado de CERC, 1984).

A este proceso se suma el aporte derivado de la acción del viento sobre el sector de playa seca, el cual resulta de vital importancia para reconstruir las dunas cuando existe material suficiente depositado en la zona de berma. El transporte eólico es una variable difícil de cuantificar, pero constituye un factor relevante dentro de la dinámica costera.

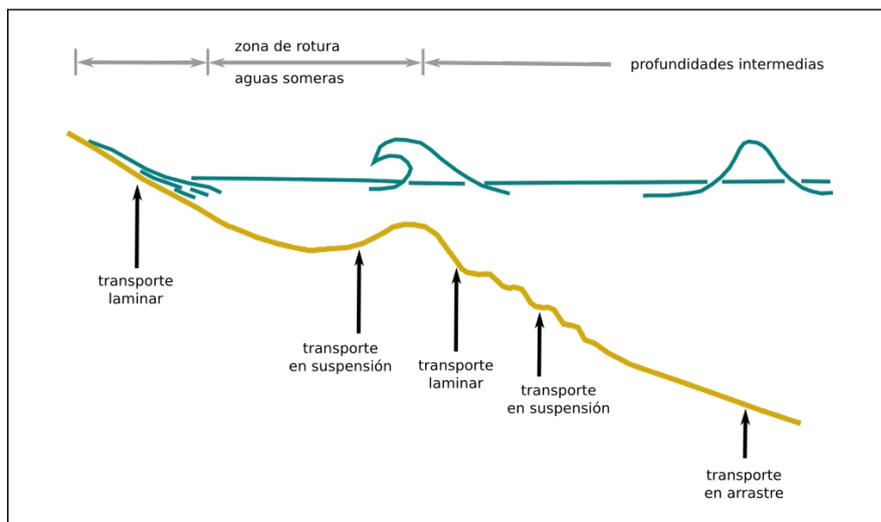


Figura 3.4. Variación de las formas de transporte transversal a lo largo del perfil de playa (adaptado de Horikawa, 1988).

3.2 | CARACTERIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA DEL LITORAL MARINO BONAERENSE

A lo largo de la costa bonaerense puede encontrarse una distribución variable en las formas de los perfiles de playa en la que se alternan zonas de acantilados y áreas medanosas, lo cual se encuentra asociado, en términos generales, con las características del clima de olas. Alta energía del oleaje deja expuestos los sistemas rocosos en formas de acantilados; en oposición, baja energía favorece el desarrollo de zonas de depósito y disponibilidad de arena (Verón *et al.*, 2014).

Distintos investigadores coinciden en diferenciar a grandes rasgos tres zonas a escala regional caracterizadas por su configuración geomorfológica, que se denominan aquí Región Sur, Central y Norte (Figura 3.5). Estas tres regiones resultan prácticamente coincidentes con los tres sectores identificados para la caracterización del oleaje en el Capítulo 2.

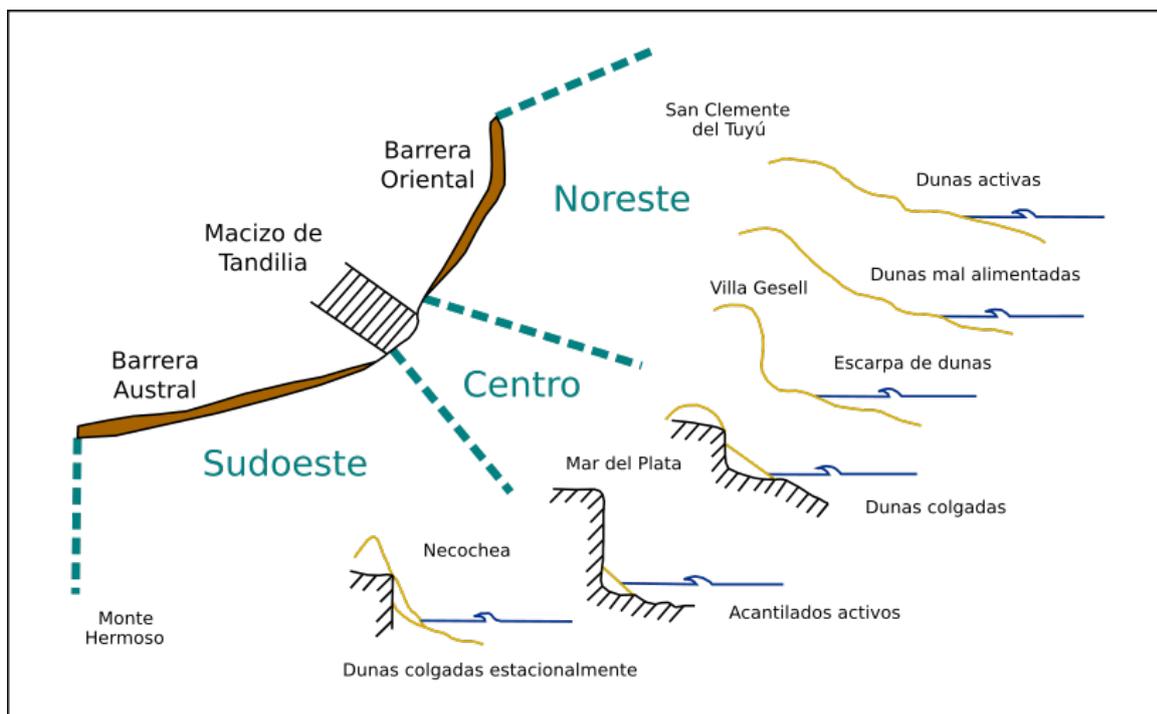


Figura 3.5. Caracterización geomorfológica de la costa bonaerense (adaptada de Verón *et al.*, 2014).

La Región Sur comprende desde Monte Hermoso hasta Miramar. Posee en promedio la menor tasa de transporte potencial de todo el litoral. En concordancia, la morfología comienza con playas suaves y arenosas, y progresivamente aparecen acantilados hacia el noreste, en la dirección de crecimiento del flujo de energía, donde se comienzan a observar dunas colgadas estacionalmente (Verón *et al.*, 2014) (Figura 3.5). Toda la región se encuentra caracterizada por la presencia de la denominada Barrera Austral, con una alta disponibilidad de arena (Isla *et al.*, 2001b).

La Región Central se extiende desde Miramar hasta Mar Chiquita. Aquí, el litoral bonaerense se encuentra particularmente expuesto a los eventos climáticos del Atlántico Sur y la

energía entregada por el oleaje es la más alta de todo el litoral (Verón et al., 2014). La barrera arenosa desaparece y el macizo de Tandilia queda expuesto. Las geoformas presentes en este sector son acantilados más expuestos y de mayor altura que en el sector anterior, con dunas colgadas y acantilados activos (Isla et al., 2001b), lo que denota una gran energía erosiva.

Finalmente, en la Región Norte, desde Mar Chiquita a Punta Rasa, las acumulaciones arenosas vuelven a aparecer en lo que se denomina Barrera Oriental (Isla et al., 2001a). En el primer tramo, la menor disponibilidad de arena, sumado a la presencia de estructuras que favorecen la obstrucción de la deriva litoral, provoca que la tendencia real se encuentre alterada, dando paso a la existencia de escarpas de dunas (Verón et al., 2014). Más hacia el norte, sin grandes interferencias antropogénicas, se encuentran playas con disponibilidad de arena y las formaciones medanosas aparecen regularmente como dunas activas y mal alimentadas, geoformas que se mantienen hasta Punta Rasa (Isla et al., 2001a).

3.3 | CAUSAS DE LA EROSIÓN COSTERA

Las causas de erosión costera son varias y de diferente origen. Asociadas a la dinámica costera, podemos destacar tres causas principales. En primer lugar, como se mencionó anteriormente, se destaca la interacción del transporte litoral de sedimentos con diversas obras de infraestructura (puertos, muelles, emisarios) y estructuras de defensa costera (espigones, escolleras, rompeolas, protecciones tipo *rip-rap*, *sea-wall*, entre otras). Para caracterizar esta causa de erosión se presenta en la Sección 3.3.1 el análisis del transporte litoral de sedimentos a lo largo de la costa marítima bonaerense. No puede dejar de mencionarse que un factor que afectó, y sigue afectando, la dinámica costera es el avance de la urbanización sobre los cordones medanosos en diversas localidades de frente marítimo bonaerense. Aun así, el análisis y cuantificación de estos procesos escapan los alcances de este estudio.

En segundo lugar, podemos señalar como causa de erosión costera, el accionar de los temporales (caracterizados por una importante sobreelevación del nivel del mar, asociado a la marea meteorológica, junto con alturas elevadas del oleaje). Estos eventos impactan erosionando los perfiles de playa, removiendo material en la parte alta de la playa para luego depositarlo en los sectores sumergidos del perfil, acumulándolo en forma de barras. En la Sección 3.3.2 se encuentra una cuantificación de los impactos de eventos meteorológicos de diferente magnitud y duración en todo el frente costero marítimo de la provincia de Buenos Aires.

Por último, existe una erosión que se desarrolla en el largo plazo, consistente en el retroceso de la línea de costa como consecuencia de la elevación del nivel medio del mar y la readecuación de los perfiles de equilibrio de playa. En la Sección 3.3.3 se estudian los retrocesos de la línea costera bonaerense a largo plazo para diferentes escenarios climáticos y horizontes temporales.

3.3.1 | TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

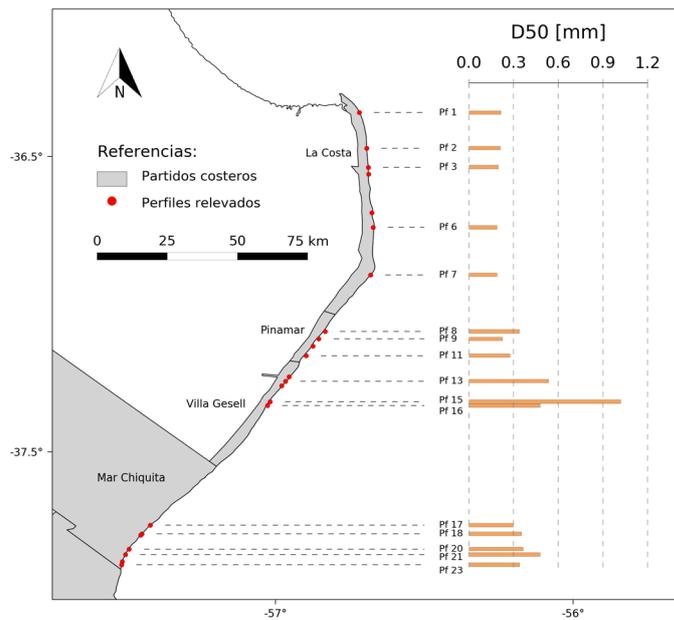
El transporte litoral de los sedimentos a lo largo de la costa constituye una de las variables fundamentales para la caracterización morfológica del área de estudio. Este proceso depende

fundamentalmente de la acción de las olas propagadas hasta las zonas costeras y de la variación de los niveles de la marea.

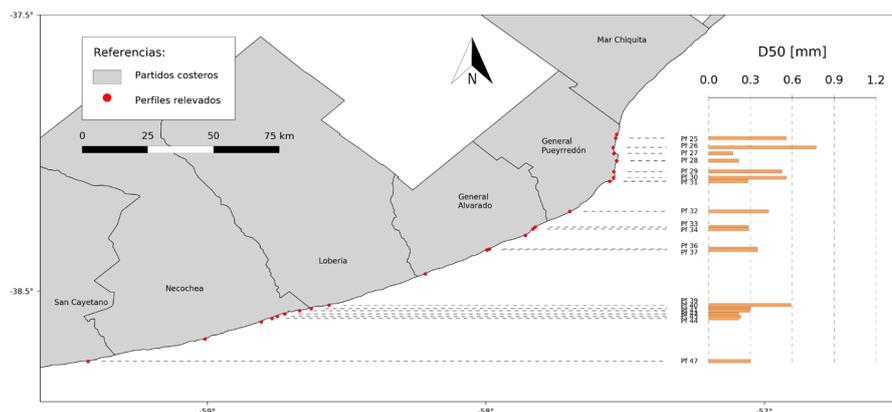
La comparación entre los perfiles costeros de cada sector señala las diferencias que existen en las variaciones de profundidad. Puede observarse que, en términos generales, las mayores profundidades corresponden al *sector Central*, en la zona comprendida aproximadamente entre Mar del Plata y Necochea. A partir de allí las profundidades se reducen hacia el noreste y hacia el sudoeste.

Estas características inciden fundamentalmente en la propagación de las olas desde la zona de ubicación de las boyas virtuales y, en consecuencia, tienen efecto sobre el transporte potencial de los sedimentos en el área costera en cada caso.

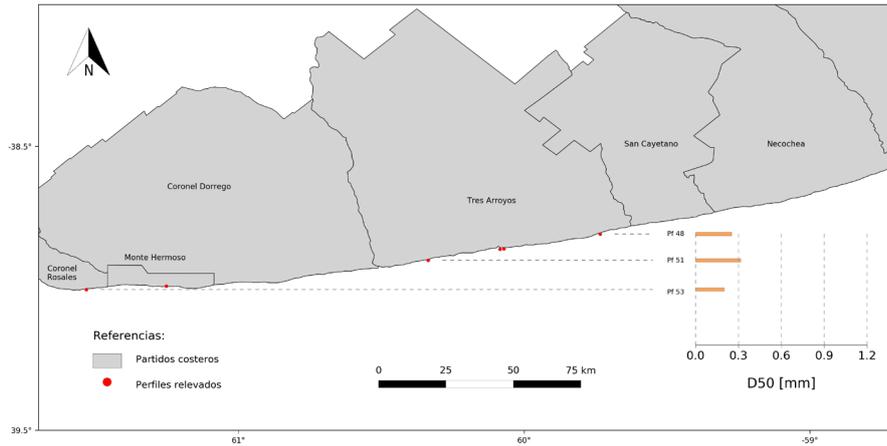
También tiene gran incidencia en las tasas de transporte el diámetro del sedimento. Caracterizado mediante el D_{50} , resulta de la **Figura 3.6** que en la mayoría de los perfiles relevados se trata de arenas finas (0,125 - 0,250 mm) a medias (0,25 - 0,50 mm), con algunos casos puntuales de arenas gruesas (0,5 - 1,0 mm) como es el caso de las playas de Villa Gesell y las playas del Norte de Mar del Plata.



a) Sector Noreste



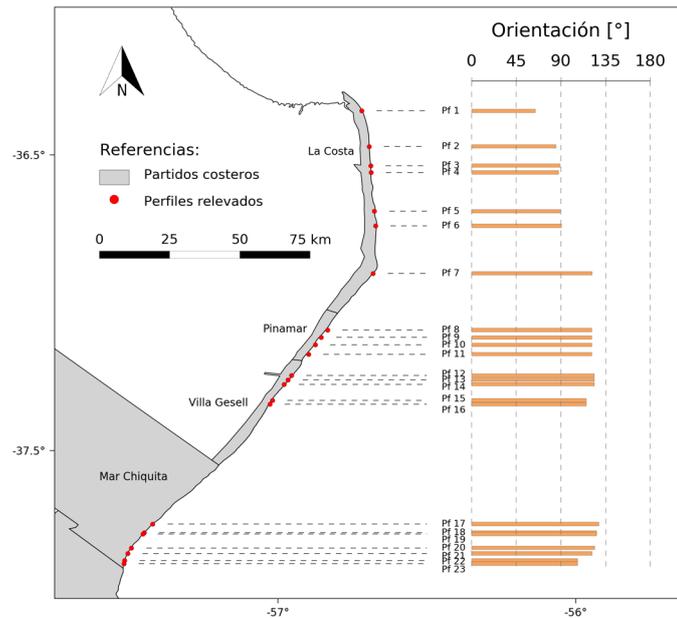
b) Sector Central



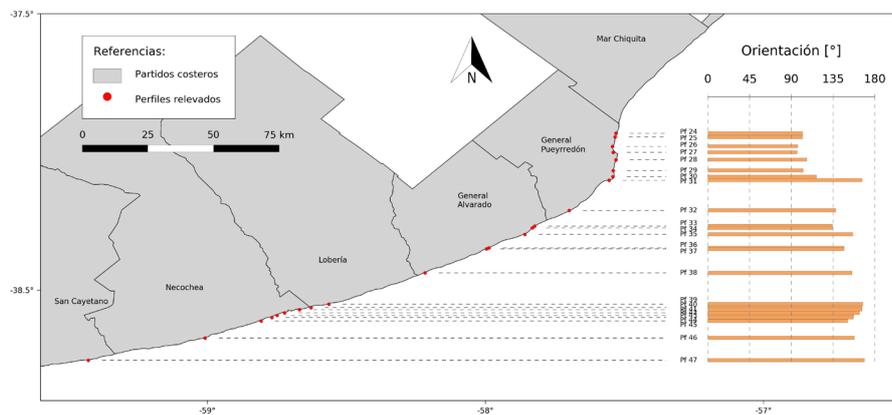
c) Sector Sudoeste

Figura 3.6. D_{50} asociado a los perfiles de playa relevados.

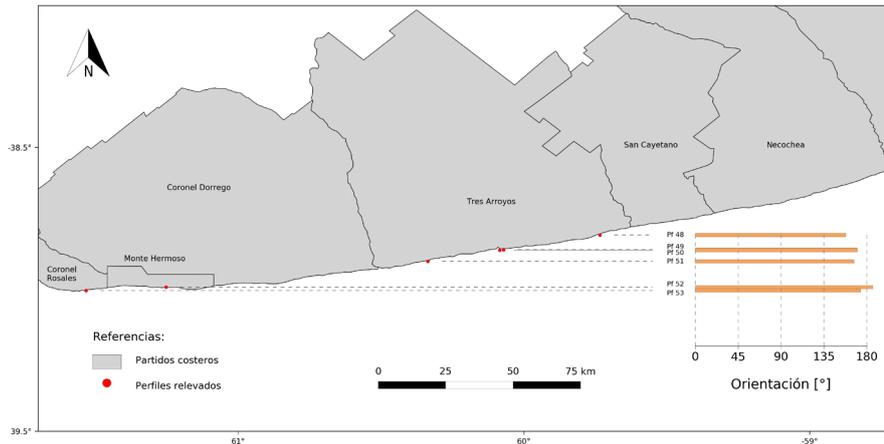
A su vez, la orientación de la playa en relación a la dirección del oleaje es un factor fundamental para determinar la dirección de la deriva litoral. A continuación, en la **Figura 3.7**, se muestra la orientación de cada perfil relevado, tomando como sistema de referencia Norte = 0° y sentido horario.



a) Sector Noreste



b) Sector Central



c) Sector Sudoeste

Figura 3.7. Orientación de los perfiles de playa relevados.

La **Figura 3.8** muestra un ejemplo de los resultados obtenidos de la aplicación del software LITPACK (DHI, *Danish Hydraulics Institute*, Dinamarca). En la misma se presentan valores medios anuales de transporte de sedimentos para el perfil de Punta Mogotes (Mar del Plata), graficando la variación de los mismos en función de la distancia a la costa. Independientemente de los volúmenes transportados, el comportamiento observado es similar en toda la costa, en donde prácticamente la totalidad del transporte ocurre en los primeros 400 metros desde la costa.

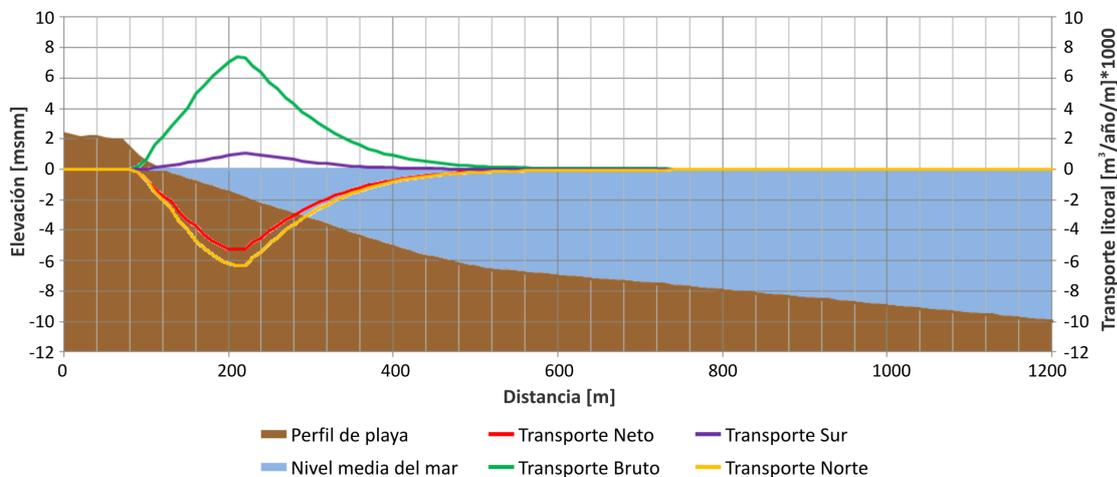


Figura 3.8. Volúmenes medios anuales de transporte. Resultado del cálculo sobre el perfil de Punta Mogotes (Mar del Plata).

La convención adoptada implica que los volúmenes de transporte que se movilizan en sentido noreste-sudoeste son identificados con signo positivo y los volúmenes de transporte que se movilizan en sentido sudoeste-noreste son identificados con signo negativo.

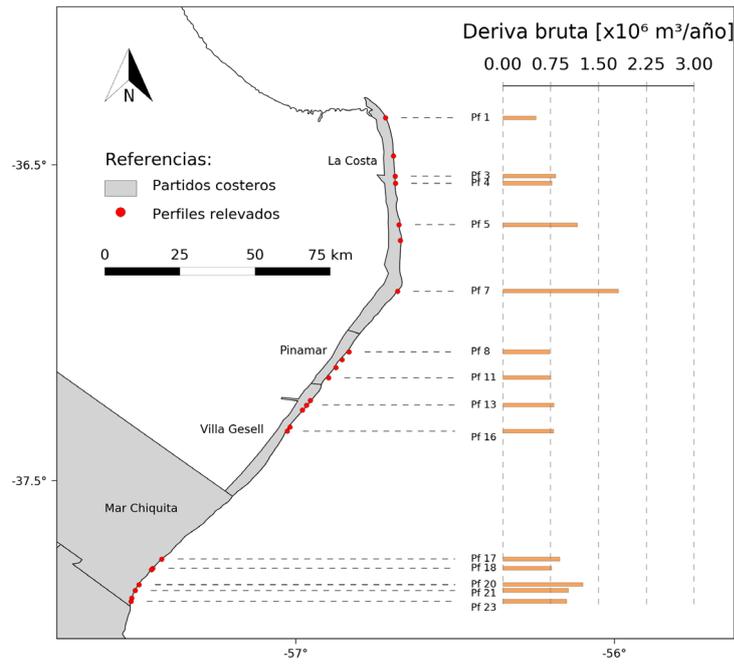
En la **Tabla 3.1** se presentan los volúmenes medios anuales obtenidos para la totalidad de los perfiles estudiados. En la mayoría de los casos el transporte neto resulta en sentido sudoeste-noreste, con la excepción del tramo de costa comprendido entre los Partidos de Tres Arroyos y Coronel Rosales, donde los resultados del presente estudio indican una tasa de transporte neta en sentido contrario.

Tabla 3.1. Volumen medio anual.

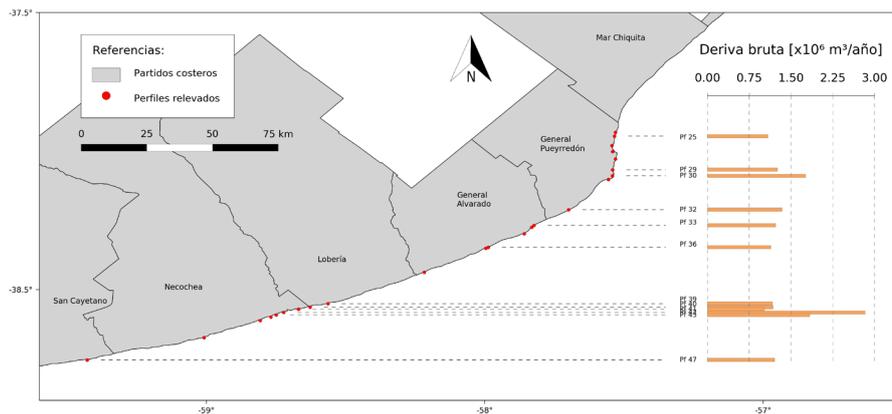
Partido	Perfil	Bruto (m ³)	Neto (m ³)
La Costa	Almejas (San Clemente)	522.000	-295.000
	Santa Teresita (Calle 32)	827.000	-414.000
	Mar del Tuyú (Calle 58)	769.000	-408.000
	San Bernardo (Calle Andrade)	1.170.000	-720.000
	Punta Médanos	1.815.000	-834.000
Pinamar	Pinamar Golf Club	731.000	-394.000
	Balneario Cozumel (Cariló)	755.000	-384.000
Villa Gesell	Calle 107	800.000	-362.000
	Mar Azul	799.000	-477.000
Mar Chiquita	Calle San Martín	893.000	-419.000
	Av. Mar de Cobo	762.000	-369.000
	Camet Norte	1.258.000	-665.000
	Santa Clara del Mar	1.030.000	-570.000
	La Manada	1.002.000	-774.000
General Pueyrredón	Parque Camet	1.088.000	-877.000
	Punta Mogotes	1.259.000	-942.000
	Honu Beach	1.764.000	-979.000
	Chapadmalal	1.341.000	-596.000
General Alvarado	HR (Miramar)	1.224.000	-629.000
	Balneario Cocoloco	1.136.000	-432.000
General Alvarado	Arenas Verdes Oeste	1.168.000	-161.000
Necochea	Costa Bonita	1.178.000	-138.000
	Bahía de los Vientos	1.025.000	-149.000
	Av. 75 Necochea	2.832.000	-949.000
	Balneario Kabryl	1.835.000	-782.000
San Cayetano	San Cayetano Parador	1.208.000	-60.000
Tres Arroyos	Orense	967.000	-365.000
	Balneario Barlovento (Dunamar)	1.190.000	215.000
	Reta Calle 48	658.000	79.000
Monte Hermoso	Faro Recalada	707.000	549.000
Coronel Rosales	Pehuen Có	317.000	222.000

El análisis de los resultados en escala regional muestra que el sector *Central* de la costa bonaerense presenta las tasas de transporte potencial más elevadas, con valores cercanos a volúmenes netos medios anuales de 1.000.000 m³ en las zonas de Mar del Plata y Necochea. Estos valores disminuyen, en términos generales, hacia ambos extremos, mostrando tanto en la región del Partido de La Costa como en Monte Hermoso / Pehuen Có volúmenes que pueden variar localmente entre 250.000 m³ y 750.000 m³, según sea el caso.

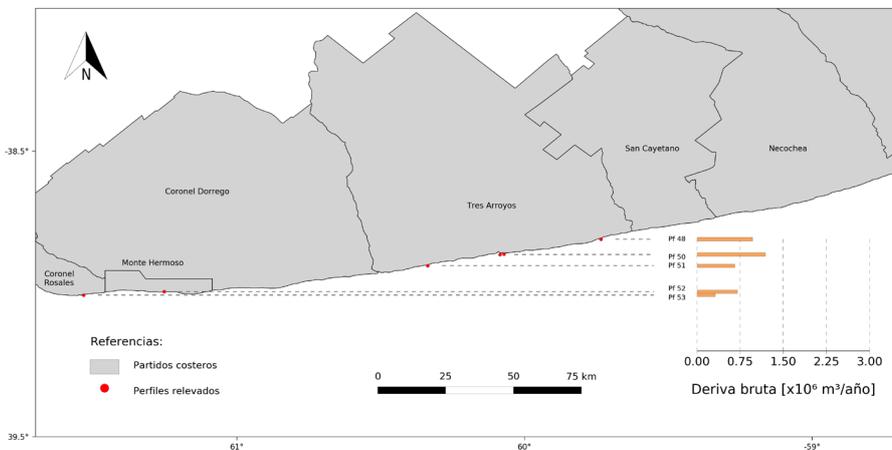
La **Figura 3.9** y la **Figura 3.10** muestran, respectivamente, la distribución de las tasas brutas y netas del transporte de sedimentos a lo largo del tramo costero analizado.



a) Sector Noreste

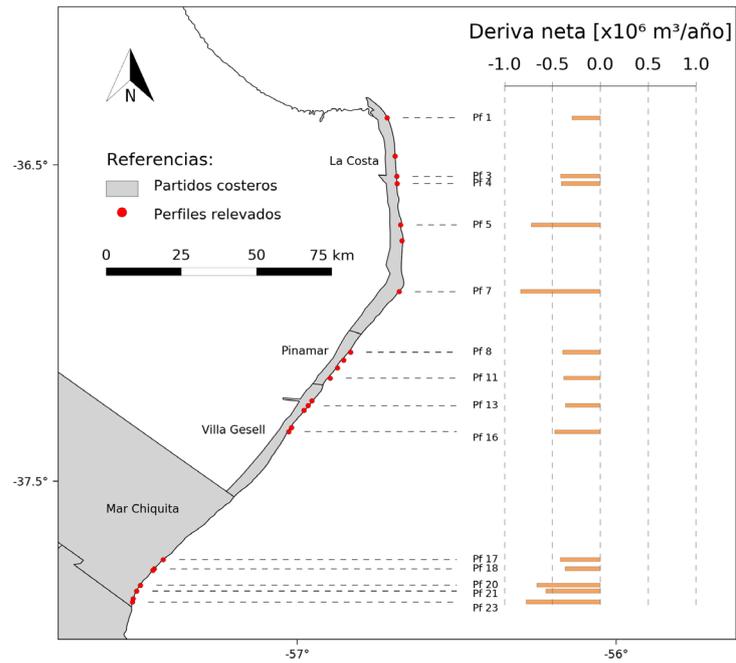


b) Sector Central

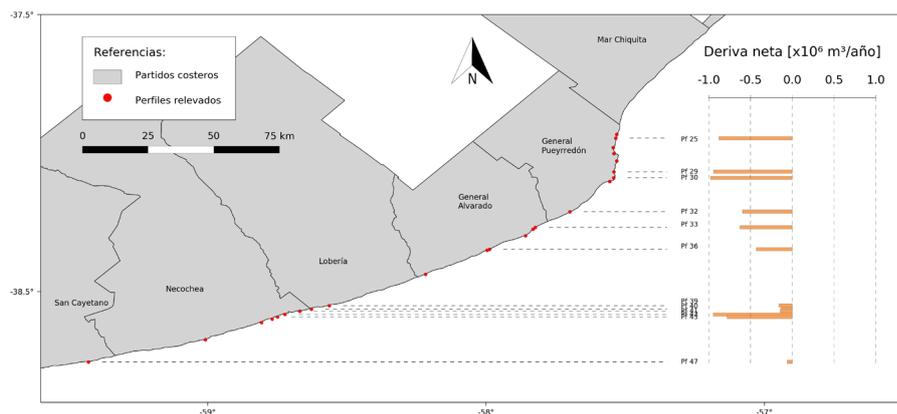


c) Sector Sudoeste

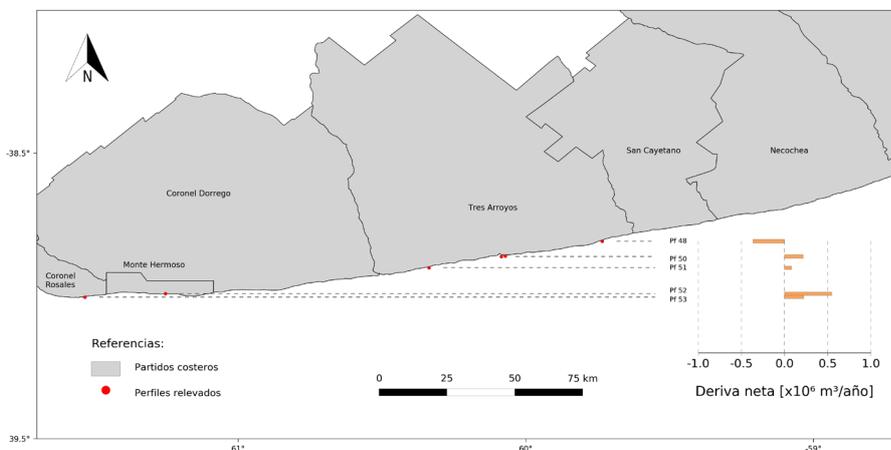
Figura 3.9. Tasas brutas de transporte de sedimento asociadas a los perfiles de playa relevados.



a) Sector Noreste



b) Sector Central



c) Sector Sudoeste

Figura 3.10. Tasas netas de transporte de sedimento asociadas a los perfiles de playa relevados.

A lo largo del Partido de La Costa, se obtuvieron tasas netas de transporte de sedimentos del orden de 300.000 m³/año en Punta Rasa y alrededor de 400.000 m³/año para Santa Teresita y Mar del Tuyú, superando los 700.000 m³/año a partir de San Bernardo y hasta Punta Médanos.

En los partidos de Pinamar, Villa Gesell y Mar Chiquita, los perfiles de playa evaluados arrojaron valores de deriva litoral hacia el noreste en el rango de 360.000 y 780.000 m³/año.

Tomando el sur del partido Mar Chiquita, el partido de General Pueyrredón y el norte del partido de General Alvarado, se obtienen los valores más altos de transporte de sedimentos (596.000 - 980.000 m³/año).

Hacia el sur, entre Miramar y Monte Hermoso, se obtuvieron los valores más bajos (e.g., 60.000 m³/año en el perfil San Cayetano Parador). También resulta que la deriva litoral muestra sentido noreste-sudoeste en el tramo Claromecó (perfil Balneario Barlovento) - Pehuen Có. Además, se calcularon valores altos para los perfiles Av. 75 Necochea (949.000 m³/año) y Balneario Kabryl (782.000 m³/año).

De todo esto resulta que las mayores tasas de transporte se presentan en las playas en donde hay cambios abruptos en la orientación de la costa.

3.3.2 | CONSECUENCIAS DE EVENTOS METEOROLÓGICOS

Los eventos de temporal caracterizados por una importante sobre elevación del nivel del mar, asociado a la marea meteorológica, junto con alturas elevadas del oleaje, generan un impacto en la costa. Estos impactos pueden cuantificarse en términos de cota máxima de inundación y erosión sobre el perfil de costa.

La caracterización de eventos de temporal (altura, periodo y dirección de las olas, niveles de marea y sobre elevación del nivel del mar por rotura del oleaje) para el frente marítimo bonaerense puede encontrarse en INA-UdelaR (2020d).

La **Figura 3.11** muestra la altura máxima del nivel de inundación alcanzado para diferentes períodos de retorno a lo largo del tramo costero en estudio. Este nivel máximo de inundación, obtenido para condiciones de temporal, incluye la marea total (astronómica + meteorológica) más la superposición de los efectos de *set-up* y *run-up*. Los valores expresados para el nivel de inundación se encuentran referidos al nivel medio del mar.

La distribución de la altura máxima del nivel de inundación a lo largo de la costa muestra los niveles más bajos en la zona del Partido de La Costa, con valores inferiores a 2,5 m para un período de retorno de 2 años. Mientras que los valores más altos se encuentran entre los partidos de General Pueyrredón, General Alvarado y Lobería, donde se superan los valores de 3 m para un período de 2 años.

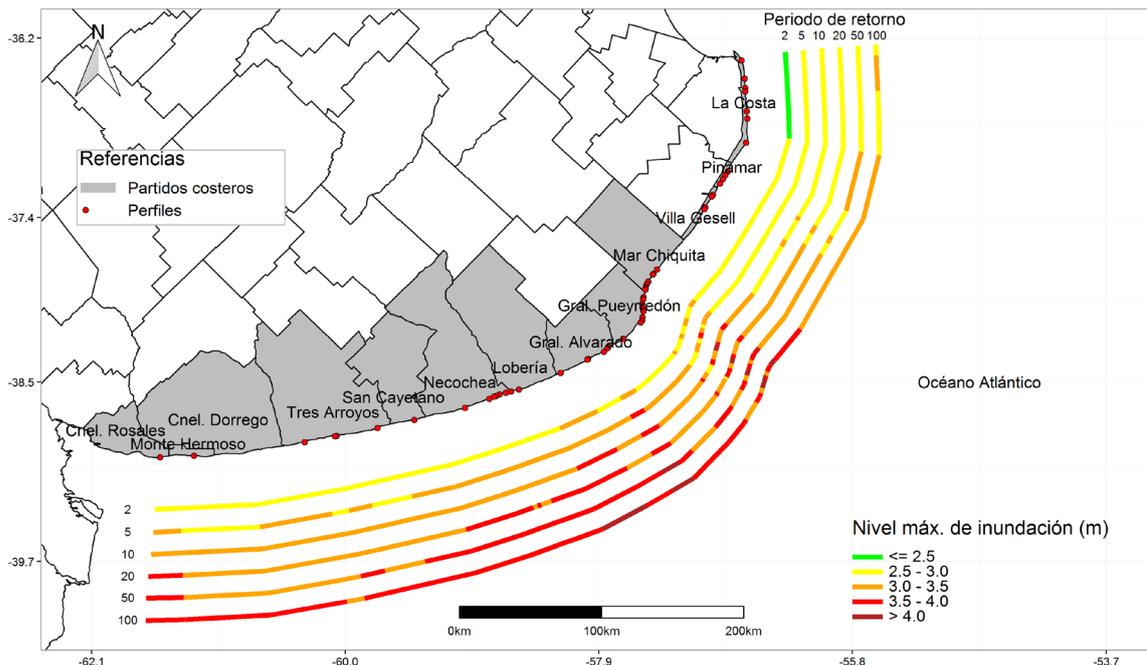


Figura 3.11. Nivel máximo de inundación en la costa marítima bonaerense.

Utilizando estos resultados se calcularon las alturas de revancha a lo largo de toda la costa obtenidas como diferencia entre la cota máxima del perfil de playa y el nivel de inundación estimado en cada ubicación analizada. La **Figura 3.12** muestra la distribución de esta variable a lo largo de la costa marítima bonaerense. Se puede ver que las zonas más comprometidas en cuanto a la posibilidad de inundación por acción de los temporales se encuentran comprendida entre los partidos de La Costa y Mar Chiquita. Hacia el sur, a excepción de un pequeño tramo en la zona de Mar del Plata (perfil Luro), la elevación na-

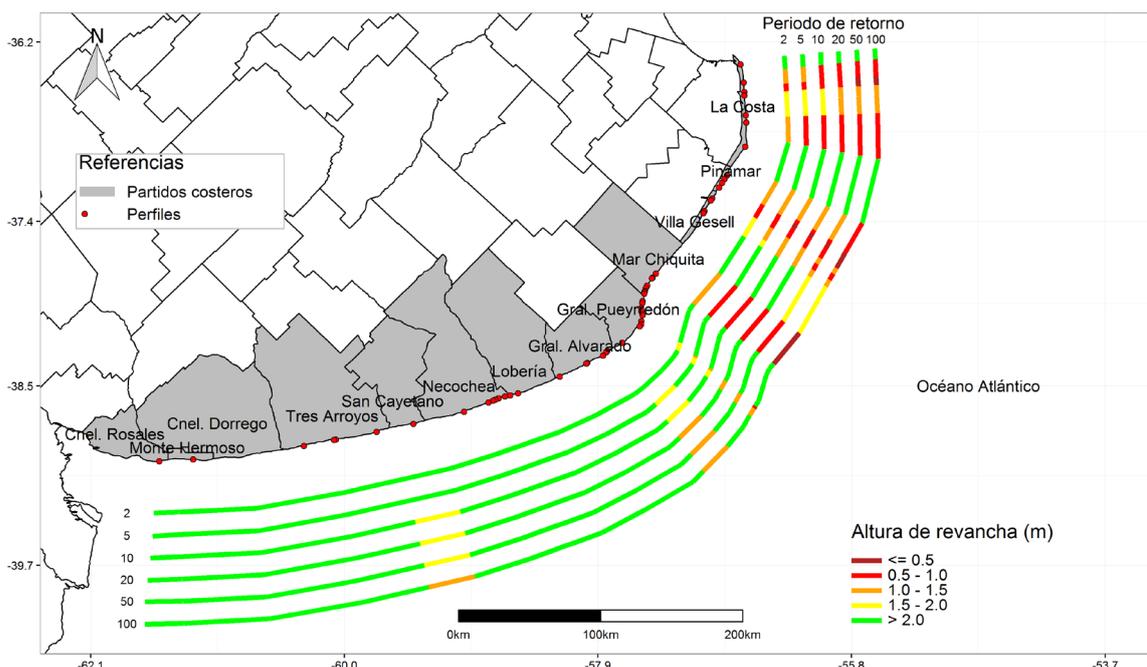


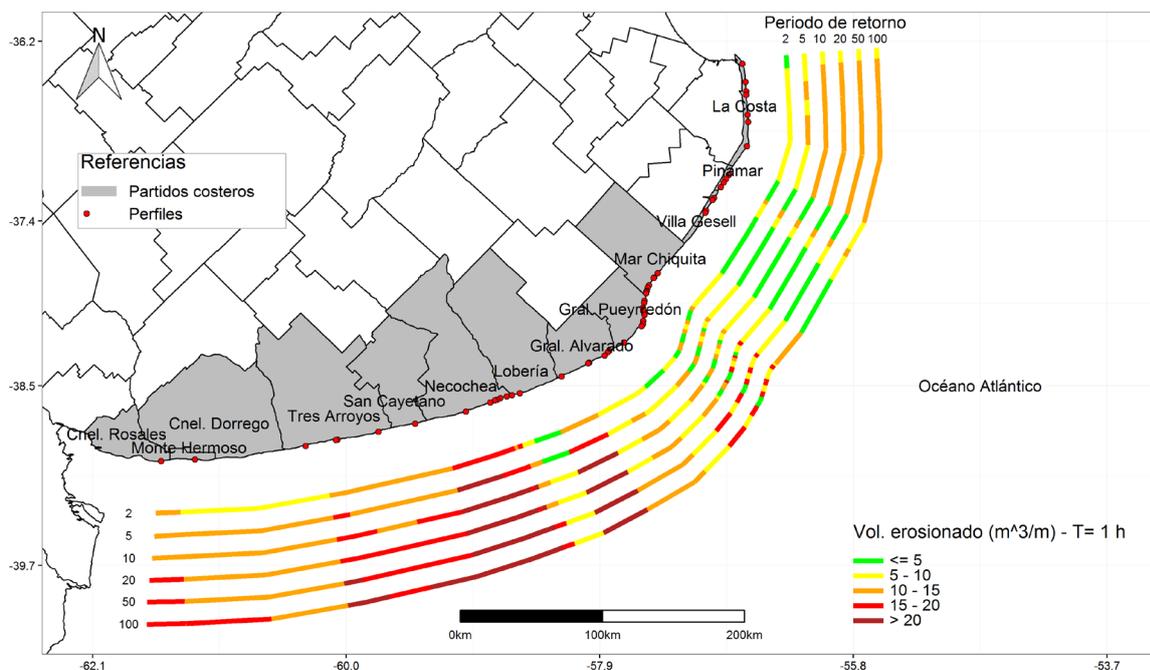
Figura 3.12. Altura de revancha en la costa marítima bonaerense.

tural del terreno da un resguardo a la costa con revanchas superiores a los 2 m en todos los perfiles analizados. La situación más desfavorable corresponde a la zona de Santa Teresita, donde las alturas de revancha pueden ser inferiores a los 0,5 m en el caso de temporales asociados a períodos de retorno de 50 años en adelante.

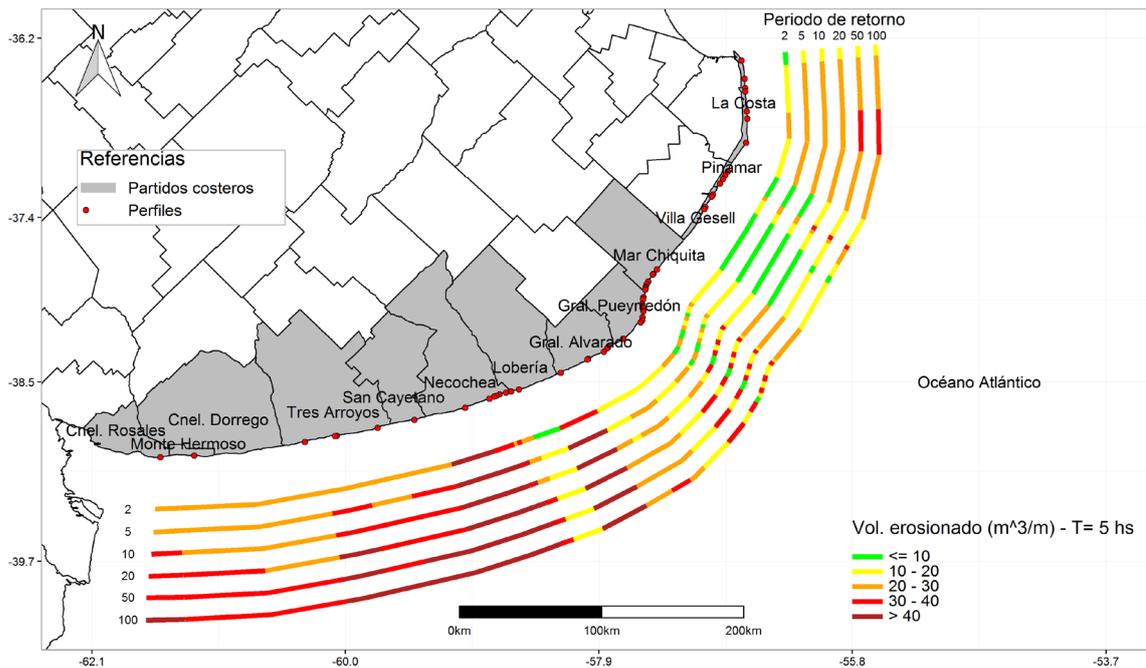
La **Figura 3.13** muestra una estimación de los volúmenes erosionados a lo largo de la costa asociados a diferentes períodos de retorno para duraciones de tormenta de 1, 5, 10, 15 y 20 horas. Los volúmenes erosionados se presentan en términos de volumen removido por metro de ancho de playa, es decir que representan la cantidad de arena en la zona emergida que se pierde por acción de los temporales y se traslada sobre el perfil a un sector sumergido del mismo.

El análisis del conjunto de mapas presentados pone en evidencia el incremento de los volúmenes erosionados al considerar duraciones mayores para los eventos y condiciones más severas, caracterizadas por el aumento en los valores del período de retorno.

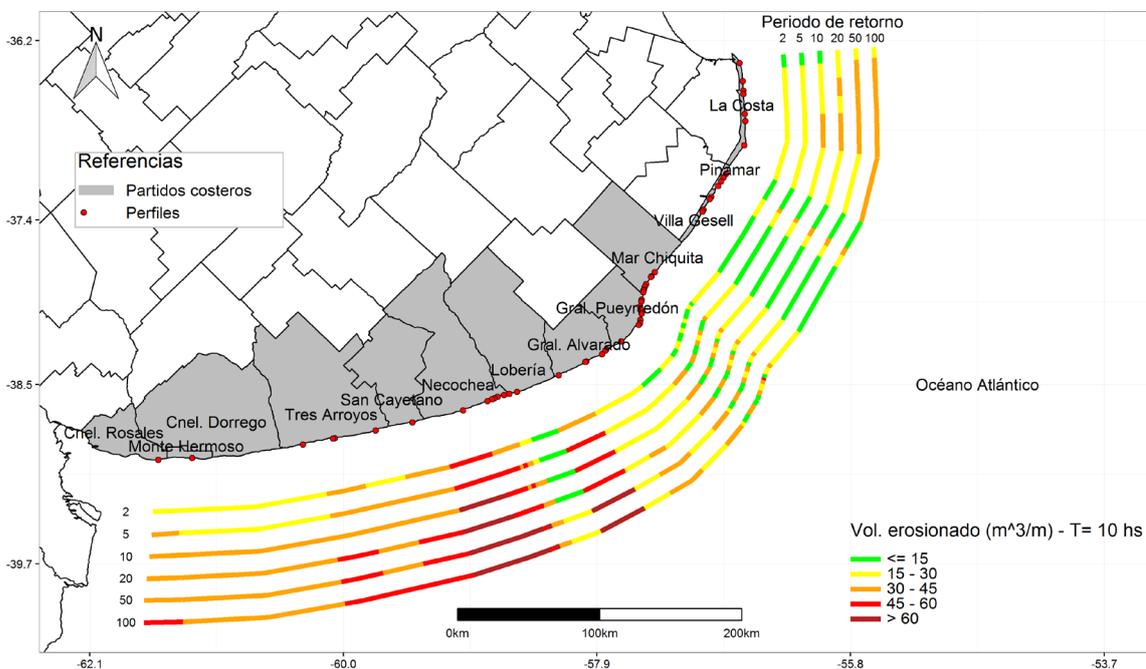
Existen importantes diferencias en cuanto a la magnitud del impacto erosivo de los temporales en los distintos sectores de la costa. Los mapas muestran con claridad que los volúmenes de erosión más elevados se encuentran en el tramo sudoeste de la franja costera, siendo el balneario Los Ángeles (Partido de Necochea) el que mostró las estimaciones más altas, con valores que pueden superar los 90 m³/m para las condiciones más severas. Salvo algunas excepciones puntuales, los resultados obtenidos entre el Partido de La Costa y el partido de General Pueyrredón muestran valores significativamente inferiores a los anteriores.



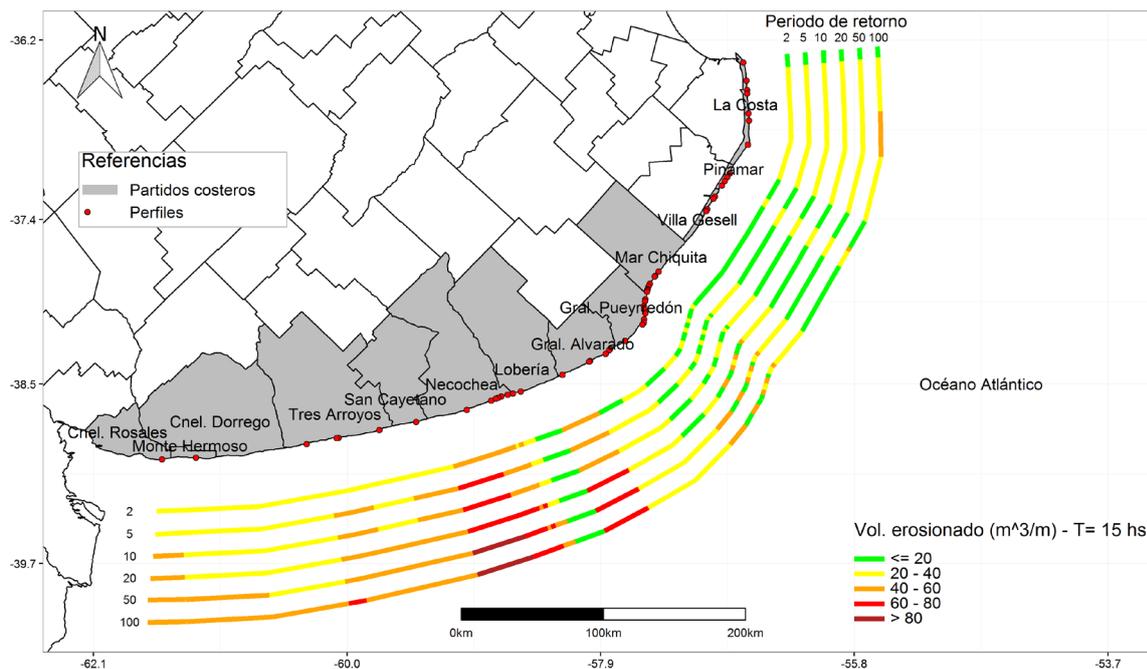
a) Tormenta de 1 hora de duración.



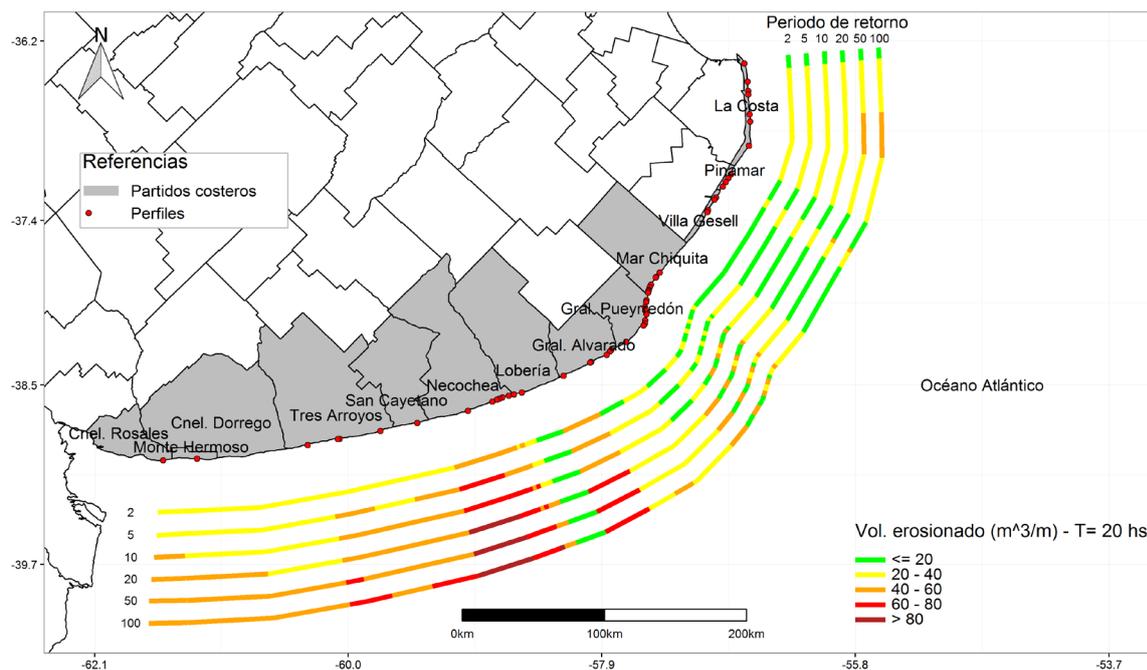
b) Tormenta de 5 hora de duración.



c) Tormenta de 10 hora de duración.



d) Tormenta de 15 hora de duración.



e) Tormenta de 20 hora de duración.

Figura 3.13. Volumen de playa erosionado para tormentas de diferentes duraciones.

3.3.3 | IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Independientemente del efecto causado por la acción de los temporales, existe una erosión estructural que se desarrolla en el largo plazo por efecto de la elevación del nivel medio del mar.

Según lo presentado en el Capítulo 2, las proyecciones de aumento de nivel medio del mar en la región son significativas, del orden de 20 cm para mediados del siglo XXI y en el rango

30 cm - 100 cm para finales del siglo XXI, según qué escenario se considere (INA-UdelaR, 2020a). Para caracterizar el aumento del nivel del mar se utilizaron los niveles medios proyectados para los años 2045 y 2100 bajo los escenarios climáticos RCP 4.5 (escenario de estabilización de emisiones y otros forzantes a 2100) y RCP 8.5 (escenario de altas emisiones y otros forzantes, sin estabilización a 2100).

En la **Figura 3.14** se muestran los retrocesos de la línea costera a lo largo de todo el frente marítimo bonaerense para los años 2045 y 2100 y los dos escenarios climáticos considerados (INA-UdelaR, 2020d). Se observan claras diferencias entre los niveles de retroceso correspondientes a los horizontes proyectados para el año 2045 y para el año 2100, respectivamente. A su vez también se ponen de manifiesto importantes variaciones espaciales en los retrocesos estimados a lo largo de la costa bonaerense, siendo el tramo con mayor nivel de retroceso el comprendido entre los municipios de Pinamar y General Pueyrredón. En menor medida, se destacan algunos sectores del Partido de La Costa y Tres Arroyos.

Computando el promedio de retroceso de línea de costa para la totalidad del área de estudio los resultados indican para el año 2045 valores de 17,8 m (escenario RCP 4.5) y 19,6 m (escenario RCP 8.5). Mientras que los promedios para el horizonte 2100 muestran valores de retroceso de 47,4 m (escenario RCP 4.5) y 69,7 m (escenario RCP 8.5).

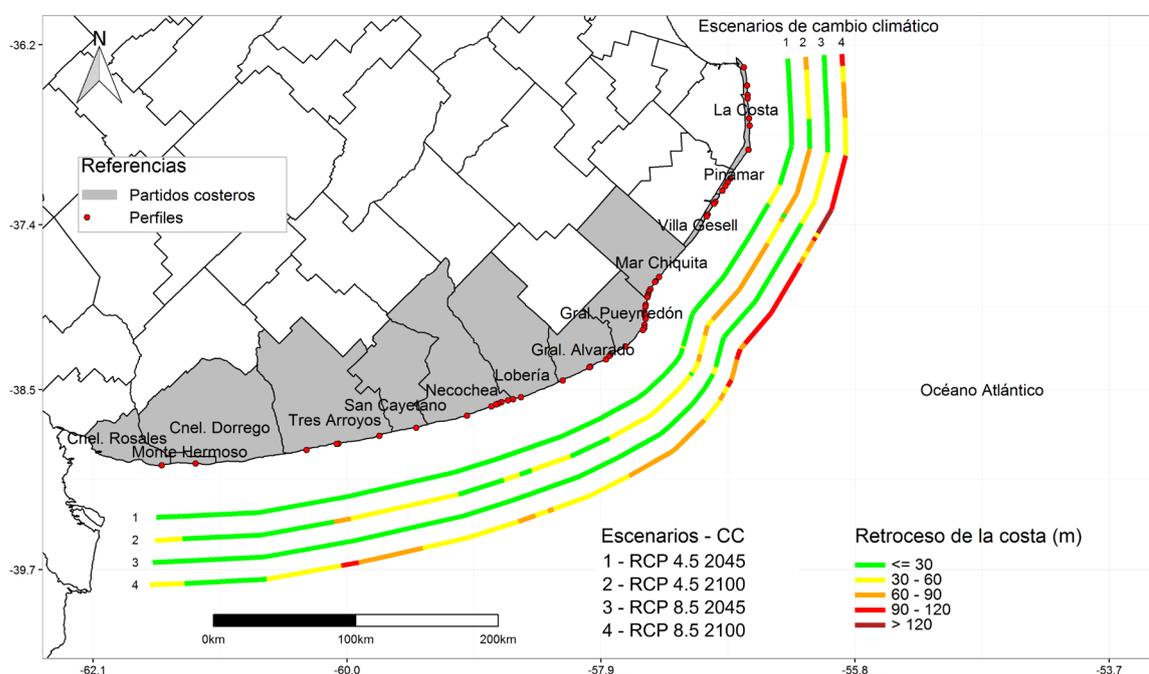


Figura 3.14. Retroceso de la línea de costa a largo plazo para horizontes 2045 y 2100.



04.

**APORTES A LA
GESTIÓN COSTERA
INTEGRADA**

4.1 | EVALUACIÓN DEL SISTEMA COSTERO

La interacción entre los diferentes procesos físicos que conforman la dinámica litoral da origen a un sistema complejo en el cual, definida un área de estudio, puede establecerse un balance sedimentario.

Para un tramo de costa determinado, como el que se esquematiza en la **Figura 4.1**, pueden distinguirse los diferentes componentes que intervienen en dicho balance, destacándose tanto los aportes al sistema como las erogaciones del mismo. En la **Tabla 4.1** se identifican los distintos componentes que pueden encontrarse habitualmente en un sistema costero típico.

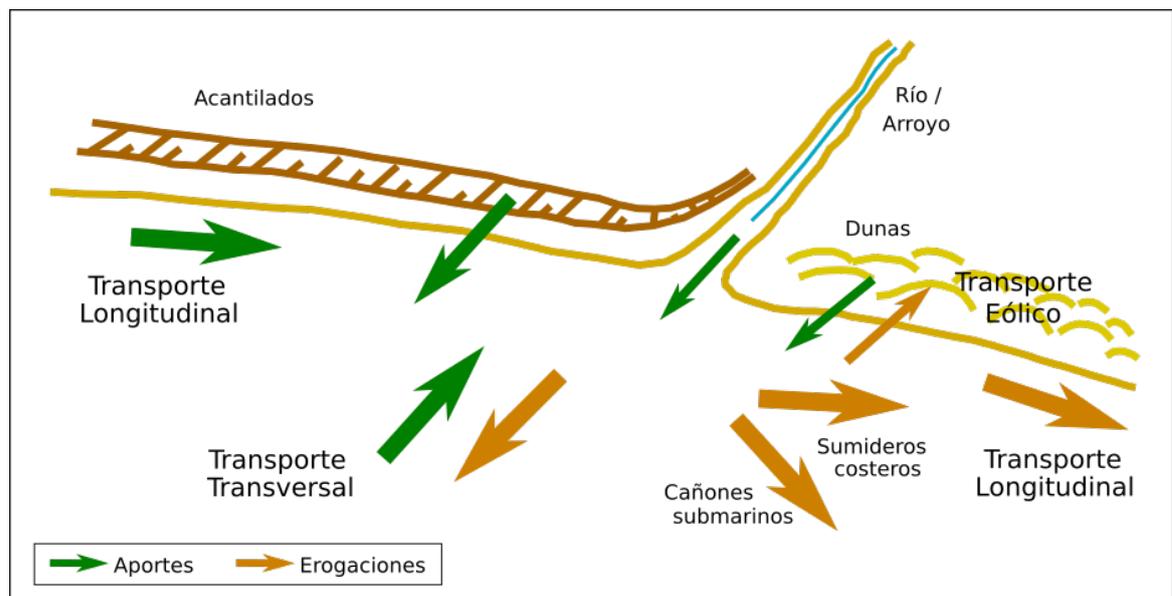


Figura 4.1. Balance sedimentario en un sistema costero (de la Peña Olivas, 2007; adaptación).

Los mayores aportes de material proceden comúnmente de los tres primeros componentes. En algunos casos los depósitos biogénicos pueden ser significativos, especialmente los que provienen de conchas marinas. Los aportes derivados de la erosión de acantilados pueden resultar no despreciables en algunas ubicaciones puntuales pero su cuantificación no resulta sencilla, ya que requiere conocer las tasas de retroceso a lo largo de todo el tramo costero en cuestión.

Las pérdidas más importantes de material en un sistema se deben a los tres primeros componentes indicados en la **Tabla 4.1** y a la existencia de cañones submarinos. La dilución y abrasión de los sedimentos no suele ser significativa.

La influencia del viento, tanto en el caso de aportes como de pérdidas al sistema no suele ser significativa dentro del balance en comparación con los componentes principales señalados anteriormente.

Dentro de los componentes vinculados a la acción antrópica se destacan los rellenos artificiales de playas (aporte) y las extracciones de arena (pérdida) realizadas comúnmente para su utilización como material en la construcción.

Tabla 4.1. Componentes del sistema para el balance sedimentario.

Aumentos	Erogaciones	Balance
Transporte longitudinal entrante	Transporte longitudinal saliente	Playa en equilibrio
Aporte fluvial	Transporte transversal hacia el mar	Playa en erosión
Transporte transversal hacia tierra	Transporte eólico hacia tierra	Playa en acumulación
Erosión de acantilados	Disolución y abrasión	
Depósitos biogénicos	Extracciones de arena de playa	
Transporte eólico hacia el mar	Cañones submarinos	
Alimentación artificial de playas		

El resultado del balance sedimentario sobre un tramo de costa indicará en qué situación se encuentra el sistema. En una condición de equilibrio, las entradas al sistema se compensan con las salidas y la costa permanece estable a lo largo del tiempo. Cualquier clase de intervención sobre el área costera, ya sea por obras de infraestructura, defensas de costa, o avance de la urbanización, constituye siempre algún tipo de alteración sobre el equilibrio natural del sistema.

Cuando se trate de un equilibrio estable, las alteraciones producidas por la intervención conducirán a una nueva condición de equilibrio que será alcanzada a lo largo del tiempo. Esto, según el desarrollo de los procesos costeros y la magnitud de la alteración puede demandar varios años. Cuando el equilibrio del sistema es inestable, la consecuencia de las alteraciones se manifiesta por el desarrollo de procesos erosivos o de acumulación permanentes.

De acuerdo con la dimensión de las intervenciones y con las características propias de la dinámica litoral en un sitio determinado, el efecto de la alteración producida puede tener un enfoque local o demandar el estudio de un área más extensa, pudiendo abarcar la totalidad de lo que se conoce como unidad fisiográfica.

Las unidades fisiográficas constituyen tramos de costa comprendidos entre dos barreras totales (que pueden ser accidentes geográficos naturales o grandes obras de infraestructura), donde el transporte longitudinal de sedimentos se desarrolla en forma independiente de lo que ocurre en los tramos contiguos. La unidad fisiográfica constituye una celda de transporte independiente, por lo tanto, los efectos de cualquier intervención que en ella se produzca quedarán circunscriptos, a lo sumo, a ese espacio físico.

Debe tenerse en cuenta que, en ciertos casos, parte del transporte longitudinal de sedimentos desarrollado por suspensión puede atravesar las barreras de la unidad fisiográfica. En general, esto constituye una proporción pequeña frente al transporte longitudinal total, por lo que de todos modos puede considerarse válido el concepto de celdas independientes. La delimitación de las unidades fisiográficas, en la mayoría de los casos, puede realizarse a partir de la observación de la línea de costa, identificando a lo largo de ella las diferen-

tes barreras para el transporte de los sedimentos. Entre las barreras de tipo natural más comunes se encuentran los cabos, las puntas (donde se producen cambios de orientación significativos en la línea de costa), los tramos de acantilados rocosos y los cañones submarinos. Las barreras artificiales más comunes son los puertos, los canales de navegación y los espigones.

En los casos en los que existen dudas sobre la eficiencia de una barrera para la delimitación de la unidad fisiográfica, o cuando se sospeche que el transporte en suspensión a través de las misma pueda ser significativo, se debe estudiar la composición granulométrica del lecho marino a ambos lados de la supuesta barrera, determinando la compatibilidad de los sedimentos.

En la costa marítima de la provincia de Buenos Aires pueden distinguirse a priori tres grandes unidades fisiográficas que coinciden aproximadamente con la caracterización geomorfológica presentada en el capítulo anterior: Unidad Noreste (Barra medanosa Oriental), Unidad Central (Macizo de Tandilia) y Unidad Sudoeste (Barra medanosa Austral). A su vez, dentro que cada una de éstas pueden identificarse distintas subdivisiones que constituyen celdas independientes delimitadas por barreras tanto de origen natural como artificiales. La **Figura 4.2** muestra el conjunto de subdivisiones de las unidades fisiográficas de la costa marítima bonaerense definidas en función de las particularidades de la línea de costa.

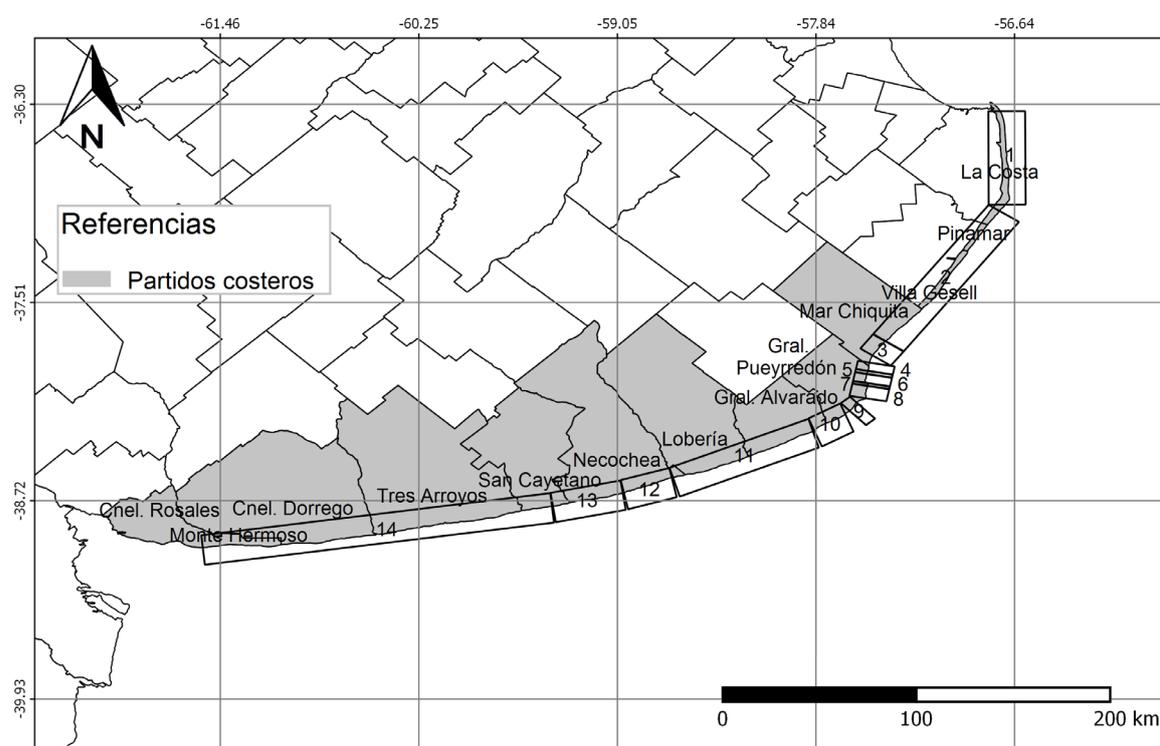


Figura 4.2. Celdas de transporte litoral en la costa bonaerense.

En el tramo central de esta costa, comprendido entre Miramar y Mar Chiquita, se puede identificar la mayor cantidad de celdas de las unidades fisiográficas debido al afloramiento de formaciones rocosas, cambios abruptos en la orientación de la línea de costa y la abundancia de estructuras de defensa costera. Eventualmente, alguna de éstas podrá ser evaluada

con mayor detalle para una correcta delimitación debido a que las barreras identificadas a priori podrían funcionar como elementos de contención parcial para el transporte de los sedimentos.

Las costas abiertas y medanosas de los sectores Sudoeste y Noreste presentan por el contrario un número reducido de celdas independientes, siendo éstas, en general, de grandes extensiones. En la **Tabla 4.2** se señalan los límites aproximados que sirven como referencia de las celdas identificadas en la **Figura 4.2**.

Tabla 4.2. Límites de las celdas de transporte.

Celda	Límite Norte	Límite Sur
1	Punta Rasa	Punta Médanos
2	Punta Médanos	Desembocadura laguna Mar Chiquita
3	Desembocadura laguna Mar Chiquita	Santa Clara del Mar (espigón Av. El Paso)
4	Santa Clara del Mar (espigón Av. El Paso)	Escollera emisario submarino
5	Escollera emisario submarino	Parque Camet (calle 143)
6	Parque Camet (calle 143)	Punta Iglesias
7	Punta Iglesias	Cabo Corrientes
8	Puerto de Mar del Plata	Punta Mogotes
9	Faro Punta Mogotes	Chapadmalal (arroyo Lobería)
10	Chapadmalal (arroyo Lobería)	Miramar (Calle 45)
11	Miramar (Calle 45)	Puerto de Quequén
12	Puerto de Quequén	Cuevas del tigre (Balneario los Ángeles)
13	Cuevas del tigre (Balneario los Ángeles)	Punta Balneario San Cayetano
14	Punta Balneario San Cayetano	Pehuen Có

4.2 | EVALUACIÓN DEL SISTEMA COSTERO

La morfología costera evoluciona con el tiempo debido a la incidencia de factores de diverso origen: la dinámica costera, las características geológicas del lugar, las variaciones del nivel medio del mar de escala global (cambio climático), la hidrología del área adyacente, y la acción antrópica, entre otros.

La manifestación más clara de los problemas vinculados a la evolución morfológica es la erosión, la cual constituye el retroceso de la línea de costa preexistente, con la consecuente pérdida de sedimentos. Por lo tanto, para determinar si un sistema litoral está afectado por un proceso erosivo o de acumulación es necesario conocer su balance sedimentario.

En la provincia de Buenos Aires la erosión costera es un fenómeno presente a largo de todo su frente marítimo. La **Figura 4.3**, desarrollada por Isla et al. 2018, muestra la estimación de tasas medias de erosión correspondientes a diferentes tramos del área costera. La misma, constituye el resultado de una evaluación de la evolución histórica de la línea de costa a lo largo del frente marítimo bonaerense, realizada en base a un análisis de fotografías aéreas e imágenes satelitales.

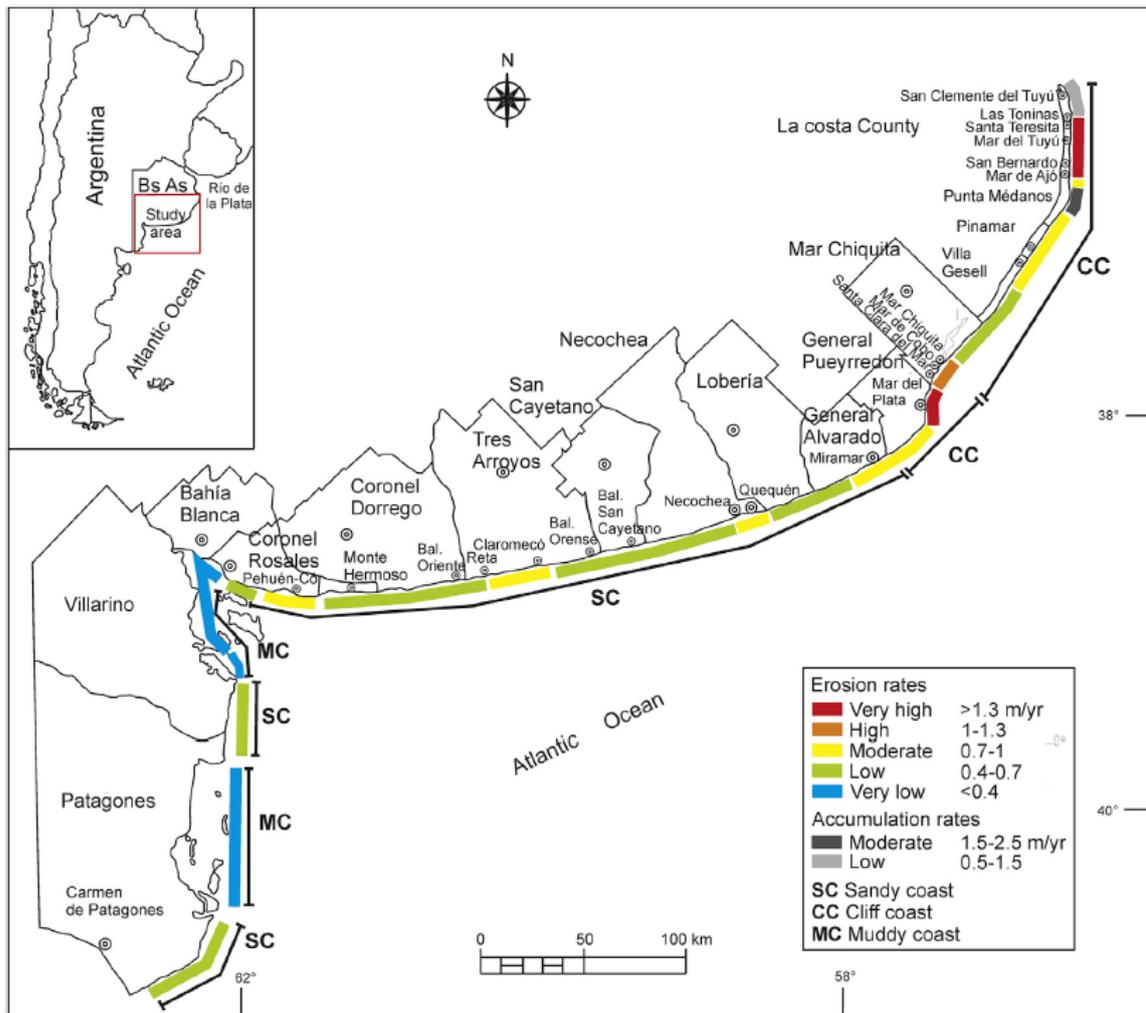


Figura 4.3. Tasas de erosión costera registrada en la provincia de Buenos Aires (Isla et al., 2018).

La **Figura 4.3** señala una situación de erosión generalizada a lo largo de toda la costa, observándose los valores más elevados en la zona de Mar del Plata y en el Partido de La Costa. Solamente dos sectores puntuales muestran casos de acumulación de sedimentos, la zona de Punta Médanos y el extremo norte del Partido de La Costa. Los resultados surgidos de este análisis muestran consistencia con las evaluaciones realizadas en INA-UdelaR (2020d), dónde en líneas generales, las estimaciones de vulnerabilidad y riesgo para la costa bonaerense mostraron los índices más elevados en los mismos municipios mencionados.

Estos resultados podrían explicarse a partir de un efecto erosivo relativamente homogéneo a lo largo de toda la costa, atribuible fundamentalmente al incremento del nivel medio del mar (Fiore et al., 2008), superpuesto a los efectos localizados que pueden vincularse al

avance de las diferentes urbanizaciones. En efecto, el crecimiento demográfico ejerce una fuerte presión sobre la costa y a menudo las actividades humanas pueden cambiar el litoral de manera rápida, incluso de forma irreversible.

En el caso de la provincia de Buenos Aires se observan distintos niveles de ocupación de la franja costera a lo largo de los municipios del área marítima. La **Tabla 4.3** muestra la síntesis de un relevamiento realizado sobre cada municipio costero indicando la presencia de estructuras y el porcentaje de intervención sobre la franja de costa correspondiente.

Tabla 4.3. Ocupación del área costera en la provincia de Buenos Aires.

Partido	Infraestructura costera	% de intervención urbana costera
La Costa	NO	49%
Pinamar	NO	69%
Villa Gesell	NO	35%
Mar Chiquita	Espigones / Escolleras / Rompeolas	28%
General Pueyrredón	Puerto Mar del Plata - Espigones / Escolleras / Rompeolas	100%
General Alvarado	Espigones	25%
Lobería	NO	15%
Necochea	Puerto Quequén	36%
San Cayetano	NO	6%
Tres Arroyos	NO	13%
Coronel Dorrego	NO	3%
Monte Hermoso	NO	45%
Coronel Rosales	Puerto Belgrano	43%

Estos datos indican claramente que el área con mayor ocupación de la costa es la zona central, donde se destaca el Municipio de General Pueyrredón con una situación de intervención total de su frente costero. A éste le siguen en importancia los municipios del *sector Noreste*, donde se destacan Pinamar, el Partido de La Costa y, en menor proporción, Villa Gesell. El *sector Sudoeste*, en promedio, presenta tasas de ocupación bastante inferiores a los anteriores.

Si bien este relevamiento no implica a priori una relación directa con las tasas de erosión documentadas, constituyen un primer indicio en el intento de explicar los motivos que generan los cambios en la morfología costera del litoral bonaerense.

A continuación, se presenta una breve caracterización sobre los principales factores observados en la franja costera marítima de Buenos Aires que pueden verse asociados al problema de la erosión. Este enfoque menciona causas tanto de origen natural como causas

vinculadas a la acción antrópica, sin la intención de cuantificar la relevancia que puede tener cada una en sitios determinados, lo cual requeriría una evaluación más profunda que escapa a los alcances de este documento.

4.2.1 | OBRAS DE DEFENSA COSTERA

Las obras de defensa diseñadas con el objetivo particular de estabilizar o recuperar la línea de costa en sectores puntuales, aun cuando cumplan con su propósito principal, pueden ser el origen de procesos erosivos en su entorno si no son planificadas adecuadamente. Cualquier tipo de estructura que se instale en una zona activa de la dinámica litoral genera algún tipo de alteración en el equilibrio natural del sistema.

Las obras de desarrollo transversal a la línea de costa, como espigones o escolleras, constituyen barreras (parciales o totales) para la deriva litoral que suele ser beneficioso para el sector ubicado deriva arriba, generando al mismo tiempo un desbalance en el transporte de sedimentos que origine el retroceso costero deriva abajo. Como ejemplo de esto puede apreciarse la diferencia entre las líneas de costa de las localidades de Santa Clara del Mar y Camet Norte (**Figura 4.4**), donde existe una discontinuidad en el desarrollo de las obras.



Figura 4.4. Retroceso de la línea de costa en Camet Norte.

Por otra parte, las obras con desarrollo longitudinal sobre la costa (como muros costeros o revestimientos de diferente tipo) producen la interrupción del transporte de sedimentos en la dirección normal, alterando el equilibrio natural del perfil de playa y los cambios estacionales que se producen entre invierno y verano. Esta alteración de la dinámica litoral se traduce comúnmente en una pérdida del área recreativa de playa, siendo estos efectos erosivos más adversos cuando la obra tienen un frente vertical en lugar de talud inclinado.

La **Figura 4.5** muestra un caso típico de este tipo de defensa concebido con el propósito

de proteger el frente costero ante el embate de los temporales en un tramo urbanizado. A menudo estas defensas constituyen un último recurso cuando resulta indispensable frenar el retroceso de la línea de costa con el fin de proteger la infraestructura que se encuentra detrás de ella.



Figura 4.5. Defensa costera con gaviones en el Mar del Tuyú (Partido de La Costa)
(Fuente: Canal Once de la Costa).

📍 4.2.2 | PUERTOS

Los puertos constituyen grandes obras de infraestructura que alteran sensiblemente los procesos de la dinámica litoral, al mismo tiempo que resultan un elemento fundamental para el desarrollo económico de las regiones adyacentes. Ante la necesidad de la construcción de un puerto, su diseño requiere estudios orientados a minimizar los impactos que genera sobre el entorno costero.

La instalación de un puerto demanda, en principio, la interferencia sobre el transporte de sedimentos de la deriva litoral, lo que provoca el déficit y, por tanto, la erosión en la zona deriva abajo a lo largo de la costa adyacente. Esta situación suele encontrar una condición de equilibrio a lo largo del tiempo (escala de años) que da lugar a una línea de costa estable con una configuración diferente a la original.

Además de la construcción de grandes escolleras para la generación de áreas de abrigo, los proyectos portuarios contemplan la materialización de canales de acceso que demandan el dragado de zonas con profundidades naturales inferiores a las requeridas por las embarcaciones. Cuando la dinámica litoral en dichas zonas tiene gran actividad pueden presentarse problemas de sedimentación en los canales.

En la costa bonaerense, el área marítima presenta dos grandes puertos con relevancia regional: Puerto Mar del Plata y Puerto Quequén. Ambos puertos se encuentran emplazados en

donde, según las estimaciones de esta Asistencia Técnica, se presentan los volúmenes netos medios anuales de transporte más altos de la región y que resultan del orden de 1 millón de m³ (específicamente en el perfil de Avenida 75 en Necochea se estimaron 949.000 m³/año y en el de Punta Mogotes en mar del Plata 942.000 m³/año).

El caso del Puerto Mar del Plata, construido en las primeras décadas del siglo XX, originó inicialmente problemas erosivos en las playas del centro de la ciudad que motivaron la ejecución de distintas obras de control. En la actualidad, la problemática vinculada al puerto se encuentra asociada más a un problema de sedimentación en su acceso debido a los bancos de arena que obstruyen parcialmente la navegación.

El caso del Puerto Quequén muestra el ejemplo de un área costera que se mantuvo relativamente estable durante largo período luego de haber encontrado un estado de equilibrio con posterioridad a su construcción, también a principios del siglo XX, y que ha sufrido problemas erosivos a partir de la obra de extensión de su Escollera Sur, comenzada en el año 2004 (**Figura 4.6**).



Figura 4.6. Línea de costa en Quequén antes y después de la extensión de la escollera.

Las causas que motivan los procesos erosivos observados en la actualidad sobre las playas de la localidad de Quequén (fundamentalmente en la zona de Bahía de los Vientos) resultan atribuibles al cambio en los patrones de difracción del oleaje generados por la prolongación de la Escollera Sur del puerto. Este condicionamiento impone la tendencia hacia una nueva configuración de equilibrio de la costa que podrá ser alcanzada probablemente a mediano plazo en caso de que no se ejecute alguna obra de control sobre la misma.

4.2.3 | EFECTOS DE LA URBANIZACIÓN

El avance de los desarrollos urbanos sobre áreas costeras genera una serie de inconvenientes que al no ser adecuadamente planificados puede derivar en serios problemas de erosión.

Uno de los mayores perjuicios ocasionados por las construcciones de áreas urbanas consiste en la degradación de los sistemas dunares que, además de dar protección contra las inundaciones frente a los eventos meteorológicos extremos (los cuales ocurren en promedio tres o cuatro veces por año, INA-UdelaR 2019e), fundamentalmente cumplen un rol esencial para el equilibrio dinámico del perfil de las playas. Como se mencionó anteriormente, las dunas aportan el material de reserva necesario para el movimiento de sedimentos que se produce en dirección transversal a la costa durante la acción de los temporales, por lo que su remoción altera sensiblemente este proceso dando lugar a un desbalance del sistema que se traduce finalmente en la pérdida de sedimentos.

En distintas localidades costeras de la provincia, la presión del sector inmobiliario, la planificación inadecuada de paseos costeros, o el uso del espacio con fines comerciales, han promovido la desaparición de los sistemas dunares de origen natural (**Figura 4.7**).



Figura 4.7. Paseo costanero en Mar del Tuyú (Partido de La Costa)
(Fuente: Canal Once de la Costa).

En otros casos, la forestación de las áreas de dunas con especies foráneas ha generado también un efecto adverso, promoviendo la fijación de las mismas y afectando de igual modo el intercambio de sedimentos a lo largo del perfil de playa.

La explotación desmedida del recurso turístico es otro de los factores que puede generar la degradación de las playas, afectadas sensiblemente por la superpoblación de turistas y la construcción de paradores y otras instalaciones que afectan el movimiento natural de los sedimentos.

Por otra parte, el crecimiento de los centros urbanos sobre la franja costera demanda el consumo de materiales para la construcción y esto motiva en muchos casos la extracción de arena en sectores cercanos a la playa, lo que promueve un desbalance que constituye también una causa de erosión.

Otro de los efectos adversos vinculados al avance de la urbanización se vincula a la problemática de los desagües pluviales, los cuales si no son planificados mediante conducciones

apropiadas pueden ocasionar problemas erosivos en situaciones de descargas descontroladas sobre el sector de playa durante eventos de precipitaciones intensas. Además, resulta importante el grado de exposición que presentan algunas urbanizaciones debido a su avance hacia el mar y el nivel de riesgo que esto implica, en función de la ocurrencia de temporales. Las evaluaciones realizadas en INA-UdelaR (2020d) señalan índices de inundabilidad elevados para distintas localidades balnearias de la provincia de Buenos Aires, entre ellas las del Partido de La Costa (**Figura 4.7**). A esta situación actual se suma el agravante generado por la elevación del nivel medio del mar, lo cual prevé que para escenarios futuros (horizontes 2045 y 2100) los niveles de riesgo se incrementarían.

4.2.4 | DINÁMICA LITORAL

Dentro de la dinámica litoral se destacan fundamentalmente los impactos generados por la acción de temporales. Durante eventos meteorológicos importantes, con sobreelevación del mar y oleajes intensos, se producen fuertes remociones de sedimentos en las zonas costeras. En principio, esto no constituye un problema erosivo para todas las playas debido a la capacidad de recuperación del perfil cuando se dispone de material abundante, como sucede en el caso de la presencia de dunas.

Por el contrario, las costas con acantilados degradables cuyo pie es alcanzado por el oleaje durante los eventos extremos, puede sufrir fuertes impactos de retroceso que constituyen un proceso erosivo irreversible. Este fenómeno se observa fundamentalmente en el tramo central de la costa bonaerense, entre las localidades de Miramar y Mar Chiquita. La **Figura 4.8** muestra un ejemplo de esto, donde se aprecia parte del material desprendido del acantilado que luego será arrastrado por la acción del oleaje y las corrientes. Además, este tipo de desprendimientos puede resultar peligroso para las personas.



Figura 4.8. Derrumbe de acantilado en Balneario Las Delicias (Camet)
(Fuente: *La Capital Mar del Plata*).

Los resultados obtenidos sobre la caracterización hidrodinámica de la zona (INA-UdelaR, 2019e) y la propagación del oleaje en situaciones de temporal (INA-UdelaR, 2020d), indican que es esperable que, en promedio, ocurran por año tres o cuatro eventos de estas características, con alturas de ola sobre el pie del acantilado que pueden superar el valor de $H_s=1$ m.

Lógicamente, las playas con fuerte intervención antrópica instaladas en áreas urbanas, donde la presencia de obras afecta el desplazamiento natural de los sedimentos, son propensas también a sufrir los efectos erosivos derivados de la acción de los temporales.

4.2.5 | CAMBIO CLIMÁTICO

De manera independiente al efecto causado por la acción de los temporales, existe una erosión de tipo estructural que se desarrolla en forma progresiva a lo largo del tiempo por efecto de la elevación del nivel medio del mar.

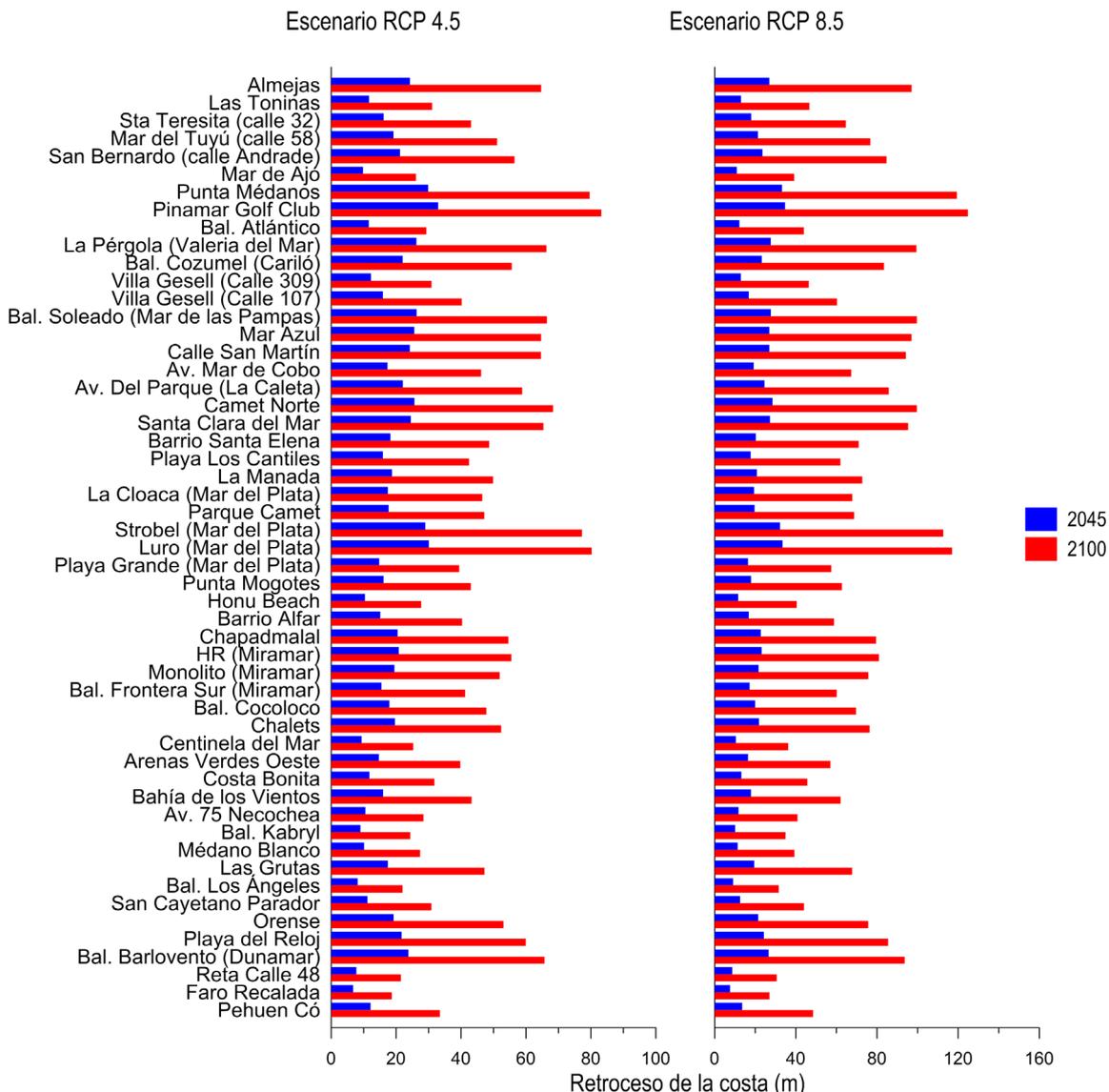


Figura 4.9. Valores puntuales de retroceso de la línea de costa a largo plazo.

Este efecto, atribuido al cambio del clima a escala global, representa la causa natural de erosión de playas más importante, presentando una incidencia generalizada a lo largo de todo el litoral marítimo de la provincia de Buenos Aires.

En el marco de esta Asistencia Técnica se hicieron evaluaciones sobre el impacto de este efecto para los horizontes de los años 2045 y 2100 bajo la suposición de distintos escenarios climáticos globales. La aplicación de la regla de Bruun (1962) permitió estimar el retroceso en la línea de costa utilizando un número importante de perfiles de playa que fueron relevados a lo largo de todo el litoral marítimo bonaerense. Estos resultados son presentados en la **Figura 4.9**, observándose principalmente rangos de retroceso en el orden 10-30 m para el horizonte 2045 y 30-100 m para el 2100 (considerando ambos escenarios analizados). Los resultados presentados para las estimaciones a largo plazo del retroceso de la línea de costa se encuentran en consonancia con las tasas registradas por Isla *et al.* (2018).

🕒 4.2.6 | HIDROLOGÍA

Los cambios en la hidrología y en los usos del suelo de las cuencas litorales están directamente relacionados con la erosión costera debido a que existe una fuerte conexión entre los procesos de erosión de la cuenca y el aporte sedimentario de los ambientes marinos y costeros (Stallery y Phillips, 2009).

Una de las mayores causas que provocan la erosión de las playas es la disminución en el suministro de sedimentos a una costa, debido a la regulación de los ríos y arroyos que suministran el material. Las obras de regulación de un río pueden deberse a la construcción de presas para el riego y la producción de energía, la profundización de los canales de navegación, o la extracción de arena, entre otros motivos.

Si bien este factor resulta difícil de cuantificar en la costa bonaerense, no puede ser desestimado debido a la gran cantidad de aportes fluviales, principalmente de cursos menores, que desembocan sobre la franja costera. Entre ellos se destacan las descargas costeras en zonas de balnearios e intervenidas con infraestructura costera, principalmente en el tramo sur de esta región, como los casos de los arroyos Claromecó (Dunamar/Claromecó), La Tigra (Mar del Sur), El Durazno y Las Brusquitas (Miramar), Chapadmalal y Lobería (Chapadmalal), entre otros. También a tener en cuenta, resultan los casos de aquellas descargas en el interior de los recintos portuarios, como el caso del río Quequén Grande (puerto Quequén) con algún recorrido en su caracterización hidrológica (Huck, 2017), y el arroyo del Barco (puerto Mar del Plata), curso entubado y con una cuenca fuertemente antropizada. Además, existen ejemplos de obras de corte del cordón medanoso para facilitar la descarga hidrológica de algunos arroyos, como el caso de los arroyos Malacara y El Moro en el partido de Lobería (que no parecen tener un impacto significativo sobre el cordón medanoso, pudiendo llegar a implicar un mayor aporte de sedimentos a la playa, y en los que se recomienda realizar un seguimiento de su desempeño).

4.3 | ACCIONES ORIENTADAS A UNA GESTIÓN INTEGRADA

4.3.1 | ESTRATEGIAS

Dado un problema concreto como es el avance de un proceso erosivo en un área determinada, el abordaje para la mitigación del mismo requiere un planeamiento que permita, a través de acciones específicas, alcanzar en forma exitosa uno o varios objetivos en común. Tal como se expone en Silva Casarín *et al.* (2014), en lo que refiere a la gestión costera hay 4 estrategias distintas que permiten abordar el problema:

- **Estrategia de no intervención:** no accionar y dejar que la naturaleza actúe en forma independiente es una alternativa. Para ello es necesario conocer los impactos que esto pueda llegar a tener, como la pérdida de espacios de recreación o de infraestructura urbana.
- **Estrategia de retirada:** aumentar el margen de seguridad de los bienes susceptibles de ser dañados por el retroceso de la línea de costas, alejándolos y reubicándolos tierra adentro. Si bien en muchos casos se trata de la solución más lógica, suele ser socialmente traumática.
- **Estrategia de prevención/corrección:** adoptar las medidas necesarias para eliminar la erosión y retornar a la condición original en caso de ser una medida correctiva, o evitar que esta se produzca desde un principio en caso de ser una medida preventiva. Para ello es necesario conocer bien las causas que la generan y debe ser una solución viable técnica y económicamente.
- **Estrategia de protección y defensa:** consiste en detener la regresión de la línea de costa mediante la construcción de obras de defensa (duras o blandas). Suele ser muy efectiva localmente, pero a veces no soluciona el problema en forma integral, sino que desplaza el problema hacia zonas vecinas.

Es importante remarcar que lo mejor no suele ser adoptar un único enfoque para toda la costa, sino alternar entre las distintas opciones en función de lo que sea más conveniente de acuerdo con un análisis que debe incluir, como mínimo, aspectos técnicos, económicos, sociales y ambientales.

Por otro lado, la experiencia indica que la mejor protección contra la erosión costera y las inundaciones es la preservación de una franja amplia de playa protegida por una duna frontal que reciba las olas de tormenta, aportando la arena suficiente para alimentar a la barra que se forma aguas adentro durante las tormentas para luego ser restituida mediante procesos de largo plazo. En este sentido, acciones como las realizadas en el municipio de Pinamar consistentes en la recuperación de áreas naturales de playa, mediante la demolición de paradores y otras estructuras de hormigón, constituye un claro ejemplo de estrategia de corrección con un alto impacto positivo en el entorno costero.

Esto no suele ser siempre posible, por lo que hay una marcada tendencia a actuar mediante obras de defensa costera. Ante este comportamiento, debe tenerse presente que desarrollar una planificación robusta permite disminuir la necesidad de obras de ingeniería duras. Esto tiene dos consecuencias positivas en el entorno costero: permite reducir los costos de la obra y favorece mayor participación de la comunidad, generando conciencia sobre la dinámica costera y sus consecuencias.

La planificación de las acciones para mitigar el problema erosivo presenta 4 puntos fundamentales:

- **Planeamiento del uso del suelo:** evitar desarrollar urbanizaciones sobre frentes costeros erosionables o susceptibles a inundaciones, evitar actividades que fomenten la erosión, como la extracción de arena.
- **Códigos de edificación:** adaptar las necesidades de infraestructura al entorno.
Ejemplo: elevar las viviendas a una cota mínima en zonas inundables.
- **Estudios de impacto ambiental:** se deben conocer los impactos que tiene cada intervención humana. Estudiando no solo la afectación local sino además cómo esto impacta sobre el entorno del área intervenida.
- **Intervenciones costeras:** sólo en casos puntuales y concretos, cuando no hay otra alternativa posible y preferentemente aplicando soluciones basadas en la naturaleza. En este sentido, resultan siempre una primera opción deseable obras como los rellenos artificiales de playas o la recuperación de sistemas dunares en lugar de las obras duras.

Se destaca que las intervenciones costeras basadas en obras de ingeniería dura tienen un costo elevado, a la vez que suelen ser soluciones rígidas no adaptativas, por lo que disminuye la capacidad de adaptación frente a cambios en las variables de la dinámica litoral.

Por otro lado, no siempre es posible solucionar un problema solamente desde la planificación dado que ésta puede dar respuesta a largo plazo y habitualmente se requieren resultados en el mediano plazo. Es por ello que se recomienda utilizar ambas alternativas en conjunto, es decir planificar a largo plazo, pero apoyarse en obras de infraestructura para obtener resultados desde el mediano plazo, siempre considerando los efectos de esta última tanto a mediano como a largo plazo, cuando ya empiecen a actuar las medidas de planificación adoptadas.

Es necesario tener presente que sea cual sea la alternativa adoptada, resulta fundamental la aplicación de un diseño que involucre previsibilidad, tanto garantizando la durabilidad de la solución (incluyendo su mantenimiento), como las posibles modificaciones ambientales que puedan ocurrir, como las variaciones que se produzcan por el cambio climático.

◉ 4.3.2 | TIPOS DE INTERVENCIONES

Cuando las estrategias de *no intervención, retirada y prevención/corrección* resultan inviables, como podría ser en el caso de sectores de costas altamente urbanizadas, la única alternativa concreta orientada a mitigar los problemas que se puedan presentar en el medio costero es la intervención por medio de obras de defensa. La planificación de cualquier tipo de obra demanda una evaluación en la que se deben conjugar las características locales de la dinámica litoral con las necesidades y objetivos que se persiguen (de la Peña, 2007).

En líneas generales, la elección de una alternativa dentro de las opciones de actuación debe considerar los siguientes aspectos (CERC, 1984):

- a) El objetivo primario de la obra: esto podría ser fijar la línea de costa para proteger las tierras e infraestructura detrás de la misma, mantener una playa, o ambos. Al mismo tiempo, podría existir un objetivo secundario, como sería el uso de la playa con fines recreativos.
- b) Los procesos físicos: la selección de una alternativa de intervención dependerá de un diagnóstico acertado acerca de cuál es la causa de la problemática que se trata de resolver o mitigar, debiéndose identificar si se encuentra asociada al transporte longitudinal de sedimentos, al transporte transversal durante los temporales, o a otro proceso de la dinámica costera.
- c) Los impactos adversos a lo largo de la costa adyacente: para esto debe tenerse en cuenta que el tramo de costa a intervenir no se encuentra aislado, sino que forma parte de unidad fisiográfica y por lo tanto habrá que evaluar el impacto considerando la afectación sobre toda la celda correspondiente.

De acuerdo con el tratamiento que se hace de la dinámica litoral, las actuaciones sobre la costa pueden distinguirse entre obras blandas (no estructurales), cuando no se alteran los procesos físicos manteniendo las características de la dinámica litoral; y obras duras, cuando se interrumpe total o parcialmente el transporte de sedimentos en el entorno de la obra.

OBRAS BLANDAS

Las obras blandas constituyen un tipo de defensa que persigue el objetivo de simular a la naturaleza, construyendo el mínimo de obra artificial posible para la solución de los problemas.

Dentro de este enfoque se destacan tres conceptos básicos que caracterizan a las diferentes tipologías de obra blanda: i) regeneración o creación de playas, ii) normalización de la dinámica litoral y, iii) reparación de zonas dunares.

Las ventajas de este tipo de soluciones consisten en que, al accionar en conjunto con la naturaleza en vez de resistirla, se alcanza una solución integral del problema y este no se traslada a ningún lugar, sino que se resuelve. Además, estas alternativas tienden a generar impactos ambientales mucho menores a los de las obras duras y permiten modificaciones

en su diseño en las distintas instancias de mantenimiento, permitiendo gran adaptabilidad y capacidad de corrección de posibles errores cometidos en la planificación. También se observa que este tipo de aplicaciones implican una mayor participación por parte de la sociedad, la cual a su vez toma conciencia de la fragilidad del ecosistema costero.

Como contrapartida, se requiere un profundo conocimiento de la dinámica costera para poder emplearlas y su efecto ocurre en el mediano a largo plazo, no concluyendo nunca y requiriendo de un mantenimiento periódico.

Es importante remarcar que, si bien el mantenimiento implica hacer seguimiento e incurrir en gastos, la naturaleza actúa constantemente, lo que de alguna manera implica que las acciones para mitigar la erosión deben ser también constantes. De ahí la importancia de contemplar el mantenimiento de este tipo de obras (y de cualquier tipo en general).

RELLENOS ARTIFICIALES

La regeneración de una playa, basada en la alimentación artificial por aporte de arena, consiste en la rehabilitación y vuelta al estado natural (o inicial), luego de haber sufrido un proceso de erosión con pérdida parcial o total de sedimentos, ya sea por causas naturales o artificiales. Este tipo de intervención no deja de representar una perturbación en el equilibrio del medio natural, por lo que se debe procurar que la obra se integre lo más posible en el entorno, suavizando los puntos de discontinuidad que se pudieran generar. Esto hace indispensable estudiar previamente la evolución futura de la obra y evaluar el impacto y las consecuencias sobre el resto del entorno.

Las variables que como mínimo deben tenerse en cuenta para un proyecto de este tipo pueden dividirse en dos grandes grupos: aquellas que son externas e influyen sobre el diseño (exógenas) y aquellas intrínsecas a la propia playa (endógenas), a saber:

- **Exógenas:** Variables físicas, entre las que se incluyen el clima marítimo, la dinámica litoral, las causas que generaron la erosión, y las condiciones de borde (físicas, geométricas e hidráulicas). Variables sociales, donde se destacan las necesidades de la sociedad respecto de la obra, problemas ambientales, necesidades de confort y estética, y desarrollo económico.
- **Endógenas:** Variables entre las que se deben mencionar volumen y tamaño del sedimento, forma de la playa, tipo de playa (cerrada o abierta), y duración del relleno.

Los estudios sobre la hidrodinámica, la morfología y el ambiente costero, previos a la actuación, y en los que debe basarse ésta, requieren extenderse a las tres áreas implicadas en el proyecto: **i) zona a regenerar; ii) zona de préstamo para el aporte de arena; y iii) sistema y vías de transporte.** En este sentido, los aportes realizados por esta Asistencia Técnica constituyen una información de base relevante para cualquier iniciativa de este tipo (INA-UdelaR, 2019d,e y 2020d,e).

Un ejemplo novedoso de este tipo de actuación es el proyecto piloto Motor de Arena (*Zand*

Motor)¹ de Deltares (Países Bajos), que consiste en un relleno de arena de más de 20 millones de m³ ubicado en un lugar estratégico para ser uniformemente distribuido a lo largo de la costa de Delfland en un período de 20 años. De esta forma se evita modificar la acción de la naturaleza, dejándola actuar sin intervenirla (**Figura 4.10**).



Figura 4.10. Motor de Arena poco después de su colocación en julio del 2011 (izquierda) y su evolución natural con el paso del tiempo: en mayo del 2015 (centro) y julio de 2017 (derecha).

En el ámbito local existen ejemplos de menor escala como los rellenos periódicos de algunos balnearios en el período previo al comienzo de la temporada de verano (**Figura 4.11**).



Figura 4.11. Tareas de readecuación de arena en Playa Grande previo al inicio de la temporada. (Fuente: *El Retrato de Hoy*).

El último gran proceso de alimentación artificial en la costa bonaerense fue realizado en Mar del Plata e impulsado en 1998 por la Comisión Mixta para la Recuperación del Puerto y las Playas. Esta obra fue planteada en el Marco del Memorándum de Entendimiento firmado entre la Provincia de Buenos Aires y los Países Bajos en 1995. El proyecto preliminar lo realizó el Departamento Costa Marítima de la DPH y el proyecto definitivo se elaboró en esta misma dependencia con la colaboración de una misión de expertos holandeses. Mediante esta acción se logró aumentar considerablemente la superficie de las playas marplatenses. Los casi 2,5 millones de m³ de arena obtenidos en las tareas de dragado del puerto fueron volcados, mediante un sistema de cañerías, sobre las playas Grande (660.000 m³), Varese (150.000 m³) y Cabo Corrientes, Torreón del Monje, Bristol y Popular (1.670.000 m³). La falta de mantenimiento de dicha inversión y la recurrente acción de los temporales ocasionó la lógica reducción de las mismas con el paso del tiempo.

¹ <https://www.deltares.nl/en/projects/sand-engine/> - <https://www.dezandmotor.nl/en/>

Las recomendaciones puntuales para el diseño y proyecto de una alimentación artificial de playas destacan los siguientes aspectos (Dean, 1992; CUR, 1987):

- El porcentaje de material fino (menor a 0,074 mm, arcilla y limo) no debe sobrepasar el 5% si se considera una arena buena. Cuando éste sobrepasa el 10 % la arena es de dudosa aceptación para la alimentación de playas. Estas exigencias se deben fundamentalmente a los efectos de turbiedad que pueden generar sobre el agua.
- La duración de un relleno en una costa abierta depende de la longitud del tramo a alimentar artificialmente, creciendo esta duración con el cuadrado de la longitud del relleno.
- La alimentación artificial directa, sin obras adicionales, debe realizarse únicamente en zonas con tasa de erosión entre baja y moderada.
- Debe conocerse el origen o causa que ha motivado la erosión (transporte sólido longitudinal, transporte transversal, transporte eólico, etc.). La tasa de erosión debe ser considerada como causa duradera a largo plazo, asumiendo que ésta continuará tras la alimentación artificial.
- El perfil de playa tomado como referencia para el diseño, para ser considerado de equilibrio, requiere un análisis de evolución entre 2 y 5 años, dependiendo del clima marítimo.

SISTEMAS DE BY-PASS DE ARENA

La construcción de escolleras de protección de un puerto permite generar un recinto de calma en el cual efectuar operaciones de carga y descarga de mercadería o pasajeros. Sin embargo, estas obras de protección son, en la gran mayoría de los casos, salientes dispuestas en forma perpendicular a la costa. Esto trae aparejado un problema de acumulación a uno de los lados del puerto y de erosión en el otro, producto de la interrupción de la deriva litoral que se mueve en forma paralela a la costa, en zonas de baja profundidad. A su vez, suele suceder que la poca deriva litoral que no queda retenida avance hasta la boca del puerto, en donde las profundidades aumentan abruptamente por la presencia del canal de acceso, depositándose por disminución de la velocidad del flujo.

De esta forma, si bien las escolleras aportan un beneficio para el puerto, también traen aparejado dos problemas importantes que requieren atención constante: acreción deriva arriba y erosión deriva abajo. Si se observan los entornos portuarios en el mundo, se trata de problemas recurrentes en costas con intenso transporte litoral. Cuando se decide abordar la problemática en forma integral se recurre a un método que permite solucionar ambas dificultades al mismo tiempo: la construcción de un sistema de *by-pass* de arena.

Un sistema de *by-pass* de arena consiste en un conjunto de instalaciones que permiten extraer material en la zona de acreción, transportarla a través del puerto y depositarla en zonas de erosión. De esta forma se busca establecer el normal paso de la deriva litoral tal como si el puerto no estuviese.

A su vez, la extracción de sedimento de la zona de acumulación permite retener sedimento siempre en la misma zona, evitando que parte de la deriva termine depositada en la boca

del puerto. De esta forma se logra la restitución de la deriva litoral a la vez que se garantiza perdurabilidad en el calado del canal de acceso.

Una variante a este método es el de dragar en forma periódica el canal de acceso al puerto y utilizar el material dragado como relleno en las zonas erosionadas. Esto sólo es recomendable en playas que hayan alcanzado una forma estable, ya que de lo contrario los trabajos efectuados serán insuficientes. A su vez, es necesario tomar muestras del sedimento que se utilizará como relleno, ya que este puede estar contaminado por hidrocarburos.

Los condicionantes físicos de la costa a tener en cuenta para el diseño de un sistema de *by-pass* de arena pueden resumirse en cuatro parámetros esenciales:

- Transporte sólido litoral: neto, bruto y por direcciones (valores máximos, mínimos y medios)
- Cambios volumétricos de la playa a ambos lados del puerto: desde la playa seca hasta la profundidad de cierre.
- Recorrido seguido por la arena: especialmente el comportamiento frente a estructuras costeras.
- Características del sedimento a trasvasar: distribuciones granulométricas, distribución a lo largo del perfil, etc.

Si bien el número de implantaciones es acotado, la mayoría de sistemas de *by-pass* de arena activos en el mundo, hasta el momento han dado buenos resultados. Boswood y Murray (2001) realizaron una recopilación de los principales sistemas de *by-pass* de arena instalados hasta 1997, especificando su localización y método utilizado. Sobre un total de 53 casos analizados, la mayor parte de ellos han sido realizados en Estados Unidos (67%). Otros países que integran la lista son: Australia (9%), Sudáfrica (6%), India (6%), Dinamarca (4%), Japón (2%), España (2%), Italia (2%) y Canadá (2%).

Las soluciones adoptadas en cada caso dependen de las características físicas del lugar y de las necesidades del proyecto, debiendo definirse de acuerdo a los resultados de los estudios específicos. Entre las alternativas disponibles, se encuentran sistemas de *by-pass* que pueden ser fijos o móviles, con frecuencias de funcionamiento continuo o periódico, utilizando métodos de captación del sedimento por intercepción o acumulación que puede demandar el diseño de estructuras especiales para dicho fin.

Los dos grandes puertos de la costa marítima de la provincia de Buenos Aires (Mar del Plata y Quequén) se encuentran instalados en zonas donde la dinámica litoral resulta muy activa, con tasas de transporte medias anuales del orden de 1 millón m³. En ese contexto, y dadas las problemáticas (evaluadas en INA-UdelaR, 2020d) vinculadas a la obstrucción de la deriva litoral en ambos puertos, el estudio de la aplicación de un sistema de *by-pass* de arena para ambos sitios se presenta como una alternativa relevante orientada a la búsqueda de una solución integral del problema. Este tipo de evaluación puede ser llevado a cabo mediante la implementación de las herramientas de modelación numérica utilizadas a lo largo del desarrollo de esta Asistencia Técnica, las cuales han mostrado su eficiencia para el análisis de los procesos físicos que caracterizan la dinámica litoral y su interacción con las estructuras marinas.

DEFENSAS DUNARES

Hasta no hace mucho tiempo, no se tenía conciencia de que las dunas forman parte de la propia playa, habiéndose destruido e invadido para las construcciones de la “primera fila de playa”. En ciertas ocasiones es recomendable reconstruir las zonas dunares destruidas o crear nuevas, siendo comúnmente la mejor defensa de la trasplaya y de la conservación de la playa misma (de la Peña Olivas, 2007).

Las dunas litorales poseen un desarrollo longitudinal a lo largo de la costa y debido a que son formadas por vientos perpendiculares a la misma, soplando tanto desde el mar como desde el continente, tienen una estructura prácticamente simétrica.

La formación artificial de las dunas puede hacerse genéricamente por dos métodos. El primero consiste en la alimentación y creación directa por medios artificiales antrópicos. El segundo método consiste en la creación de trampas que frenen el transporte eólico y vaya la propia naturaleza fijando la duna.

La alimentación y creación directa es un método apropiado para una solución rápida, aconsejado cuando se requiere reconstruir un sistema dunar afectado por los temporales, o cuando determinadas necesidades sociales obliguen a una actuación con determinada urgencia. Este método implica la necesidad del estudio de la estabilidad y durabilidad de los sistemas dunares expuestos a la acción marina. Entre las herramientas disponibles para este tipo de evaluación se destacan los modelos de análisis simplificados como *SimpleCoast* (Giardino et al., 2017), implementado para realizar estimaciones sobre volúmenes erosionados y retroceso de línea de costa a lo largo del litoral bonaerense (INA-UdelaR, 2020d y e); o herramientas más sofisticadas para el análisis de la evolución morfológica como por ejemplo el modelo numérico XBeach (Roelvink et al., 2009).

La creación de dunas mediante trampas de sedimentos es un método mucho más lento, basado en la acción de la naturaleza, y por lo tanto requiere que se den ciertos condicionantes para su aplicación. En especial, se deben conocer adecuadamente las características del transporte eólico, el cual debe ser sostenido en el tiempo y con capacidad suficiente para movilizar volúmenes importantes de arena disponible en la zona. Las claras ventajas de este método se relacionan con su bajo costo y la mayor durabilidad que pueden presentar las dunas creadas por medios naturales.

Existen distintas tipologías para las trampas eólicas, las cuales de acuerdo con su modo de trabajar pueden agruparse en:

- Aquellas que forman pantallas permeables que permiten el paso de parte del viento, reduciendo su velocidad y favoreciendo la decantación de las partículas de arena en suspensión. Las pantallas pueden ser de cualquier tipo de material adecuado, y es normal que sean del orden de 1 m de altura con la mitad de su área abierta. Cuando las pantallas se van cubriendo, se instalan nuevas pantallas encima hasta alcanzar la altura de duna deseada.
- Las que utilizan arbustos resistentes que trabajan de manera similar a las pantallas, o bien mediante “pasillos”, haciendo decantar la arena en suspensión.

- Los sistemas consistentes en la instalación de líneas de estacas de pequeña longitud que hacen disminuir la velocidad del viento en las proximidades del suelo y decantar la arena.

Una vez creada la duna, o en fase de fijación, debe estabilizarse, siendo el método más natural la plantación de hierbas, arbustos y hasta árboles. La variedad de especies utilizadas para este fin puede ser importante pero siempre es deseable recurrir a la vegetación nativa (propia de la región).

Distintas experiencias de este tipo se han venido llevando a cabo en los últimos años sobre la costa bonaerense, en particular, se destaca el Programa de Remediación del Primer Cordón Dunícola en la costa de Pinamar. Estas tareas se enfocaron en la construcción de captadores pasivos de arena (enquinchados) y revegetación (con especies nativas como pasto dibujante y espartina) para acumular arena y reconstruir la duna, además de la limpieza de escombros y la construcción de pasarelas de acceso pleno a playa (**Figura 4.12**).



Figura 4.12. Remediación del primer cordón dunícola en el frente costero de Pinamar.
(Fuente: Municipalidad de Pinamar).

OBRAS DURAS

Las obras duras consisten en estructuras resistentes diseñadas con el objetivo de rigidizar una zona costera. Su implementación proviene de la primera época de la ingeniería de costas, donde la falta de conocimiento sobre el comportamiento físico de la costa, y los parámetros y variables que sobre ella inciden, se suplían con este tipo de obras. El avance en el conocimiento y la sensibilidad ambiental ha promovido una tendencia hacia las soluciones blandas cuando las circunstancias lo permiten.

Existen muchas variantes en cuanto a la tipología de este tipo de obras, habiendo una primera clasificación que distingue de acuerdo a su ubicación en la costa entre defensas longitudinales, espigones transversales, y diques exentos. A su vez, para cada una de estas obras se presentan alternativas en cuanto a su perfil (en talud, verticales, o mixtas), tipo de material (hormigón, escollera, acero de tablestacado, etc.) y forma de trabajo (rígidas o flexibles). Según de la Peña Olivas (2007), los principales motivos por los que pueden recomendarse obras de rigidización de una playa son los siguientes:

1. Cuando lo que se pretende es crear una playa donde no la había, y no existe transporte sólido litoral apreciable.
2. Cuando lo que se pretende es proteger un tramo de costa en erosión, donde la rigidización debe extenderse a lo largo de la costa hasta un punto en que vuelva a restituirse el transporte litoral (proximidades de una fuente sedimentaria o tramo donde el transporte longitudinal real sea nulo, cambio de dirección de la costa, otra obra, acantilados, etc.).
3. Cuando una formación natural cerrada se ha visto alterada por actuaciones dentro del tramo y ha sido apartada del equilibrio que gozaba.

La costa bonaerense cuenta con una importante cantidad de intervenciones de este tipo, que en su mayoría se encuentran ubicadas en el sector Central, entre las localidades de Miramar y Mar Chiquita. Las más antiguas fueron construidas a partir de 1920 con el propósito de rigidizar algunos tramos costeros de la ciudad de Mar del Plata (**Figura 4.13**) debido a los procesos erosivos originados por la construcción del puerto y el avance de la ciudad sobre el área costera.



Figura 4.13. Obras de defensa costera en el centro de la ciudad de Mar del Plata.

La mayoría de estas obras han sido planificadas con la idea de captar el sedimento transportado longitudinalmente por la deriva litoral para recuperar parte de la playa erosionada, o bien para mantener la playa existente. En los últimos años, este tipo de obras se planifican considerando la incorporación intencional de arena (sea esta proveniente de dragado o de areneras habilitadas), para favorecer un mejor balance sedimentario.

Más recientemente, a partir del año 2010, se construyeron cuatro estructuras exentas al sur de la ciudad con el propósito de detener el proceso erosivo generado sobre los acantilados de esa zona (**Figura 4.14**). Este tipo de estructura da protección frente a la acción de

temporales atenuando la energía del oleaje que efectivamente llega a la costa, y al mismo tiempo produce una alteración en los patrones de circulación de sedimentos que permite la recuperación de la playa. Esta obra, que fue además complementada con un relleno artificial de la playa, ha mostrado un buen rendimiento, reduciendo el ritmo erosivo del acantilado y manteniendo estable la playa.



Figura 4.14. Espigones paralelos a la costa - Playa Acantilados, Mar del Plata.

El diseño y la verificación de este tipo de obras requiere, al igual que en el caso de las obras no estructurales, la caracterización de un conjunto de variables vinculadas al clima marítimo (alturas, período y dirección de olas; niveles del mar; etc.) y a la dinámica litoral (tasas de transporte de sedimentos, volúmenes erosionados por temporales, etc.), para las cuales se cuenta con una extensa base de datos que abarca la totalidad de costa marítima de la provincia de Buenos Aires, generada durante esta Asistencia Técnica.

Asimismo, la implementación de modelos numéricos en las diferentes escalas (global, regional y de detalle) constituye una herramienta fundamental para la evaluación de alternativas e impactos de obras, permitiendo el desarrollo de estudios orientados a la búsqueda de soluciones compatibles con el manejo integrado.

📍 4.4 | MANEJO COSTERO INTEGRADO EN BUENOS AIRES

La complejidad de la dinámica litoral, las implicancias que puede generar cualquier tipo de intervención que se realice sobre el sistema costero, y la necesidad de una planificación adecuada, demandan que este tipo de acciones sean contempladas dentro del contexto de un plan de Manejo Costero Integrado (MCI).

El MCI consiste en un proceso dinámico, continuo y multidisciplinario que busca integrar los diferentes actores (niveles gubernamentales, científicos, ciudadanía, etc.) e intereses (sectoriales, públicos, etc.), en la elaboración e implementación de programas para la protección y el desarrollo sustentable de los recursos y ambientes costeros.

En las últimas décadas la preocupación por el cuidado del ambiente en general y por el cuidado de las costas en particular ha ido en aumento. Esto se tradujo en la creación de numerosos documentos a nivel nacional, provincial y municipal que instan a la creación de un Plan de Manejo Costero Integrado (Dadon, 2009; Isla y Lasta, 2006; Boscarol et al., 2016; entre otros). En este sentido, es importante fortalecer una mirada estratégica sobre las costas que articule a la conservación de la naturaleza como una actividad vinculada a la economía regional, que genera beneficios sobre otras actividades económicas (turismo, pesca, etc.).

A fin de mitigar la problemática de la erosión costera con abordajes sostenibles e integradores, en virtud de un enfoque participativo y socialmente inclusivo, el manejo costero debe cumplir con ciertas características de base. La generación de datos, el análisis y el diagnóstico de la dinámica de los procesos costeros es fundamental para comprender y predecir resultados y aportar a una gestión integrada (**Figura 4.15**).

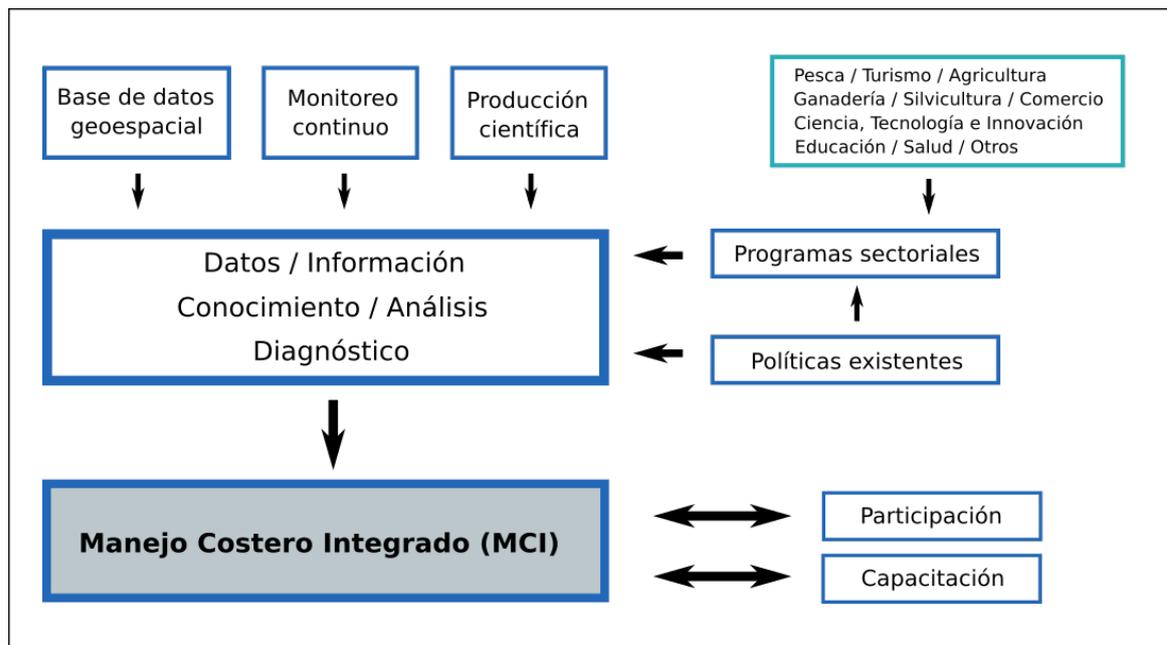


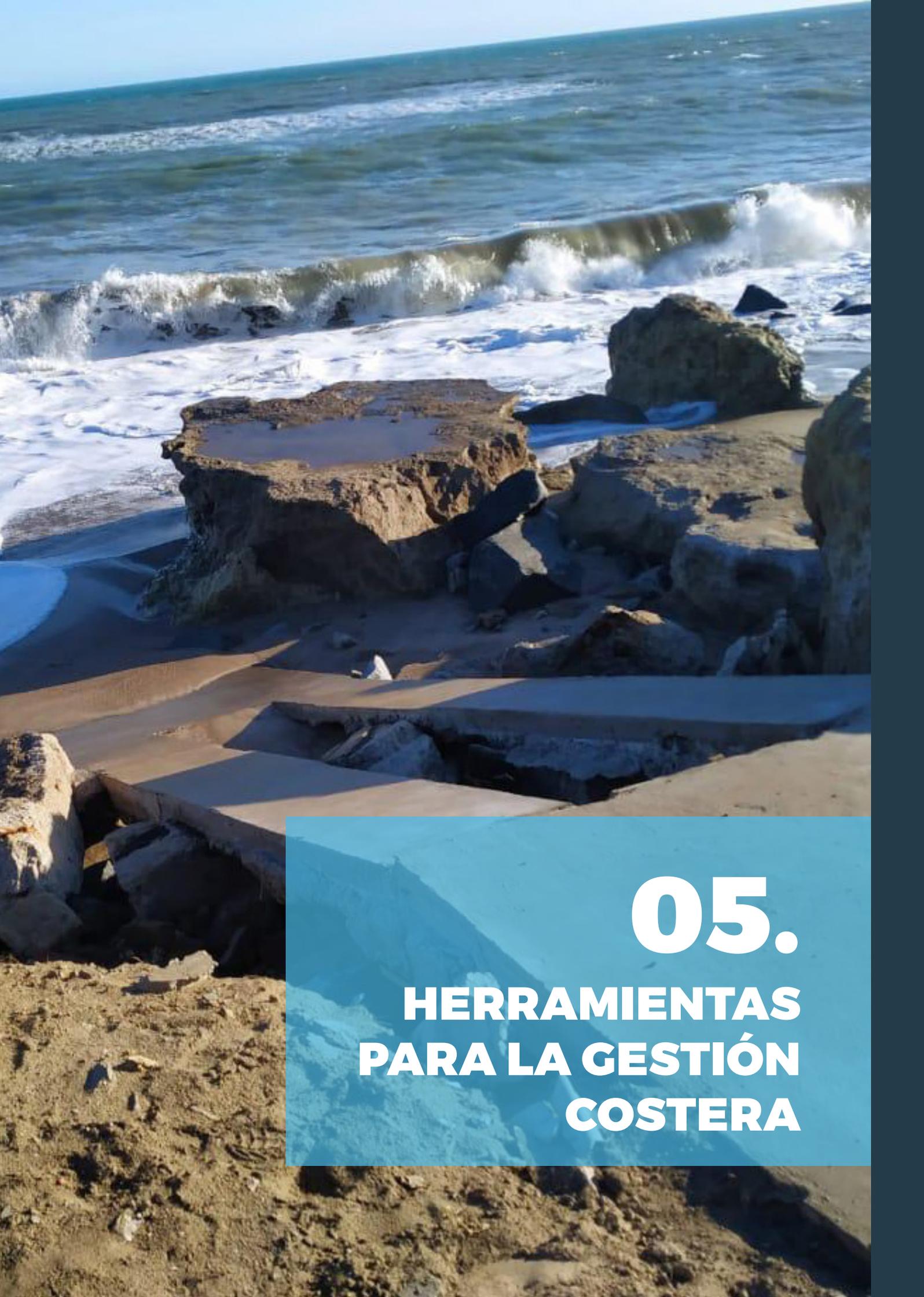
Figura 4.15. Esquema para la implementación de un Plan de Manejo Costero Integrado (MCI).

En este marco, desde un diagnóstico detallado de la dinámica costera marítima de la provincia de Buenos Aires para sumar en una estrategia más amplia de MCI, resulta vital involucrar a todos los sectores e interesados en esta región, ya que desde todas las miradas y experiencias se puede aportar a una mejor gestión integrada. En esta convocatoria deben involucrarse en el seguimiento de la problemática tanto el sector público y las instituciones académicas, como el sector privado, las ONGs y la ciudadanía, favoreciendo espacios participativos y de coproducción. Una primera aproximación a un llamado amplio para un MCI,

debería involucrar, al menos al siguiente listado de instituciones, organizaciones y actores:

- Administración provincial (todos los Ministerios).
- Administraciones municipales (todos los municipios costeros).
- Organismos nacionales y provinciales de ciencia y técnica (INA, Instituto Nacional del Agua; INIDEP, Instituto Nacional de Investigación y Desarrollo Pesquero; SMN, Servicio Meteorológico Nacional; SHN, Servicio de Hidrografía Naval; SEGEMAR, Servicio Geológico Minero, entre otros).
- Organismos de gestión provincial (DPH, Dirección Provincial de Hidráulica; ADA, Autoridad del Agua; OPDS, Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible; entre otros).
- Centros y Unidades Ejecutoras de Instituciones de investigación provincial: Comisión de Investigaciones Científicas (CIC), Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (IGCC-CIC/UNMdP); CONICET, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, nacional: Instituto de Investigaciones Marinas y Costeras (IIMyC-CONICET/UNMdP), Instituto de Geociencias Básicas, Aplicadas y Ambientales de Buenos Aires (IGEBA-UBA/CONICET), Instituto Argentino de Oceanografía (IADO-UNS/CONICET), Centro de Investigaciones del Mar y la Atmósfera (CIMA-UBA/CONICET).
- Consorcios portuarios (Consortio Puerto Mar del Plata y Consortio Puerto Quequén).
- Universidades (Universidad Nacional de Mar del Plata, UNMdP; Universidad Nacional del Sur, UNS; Universidad Nacional del Centro, UNICEN; entre otras).
- Iniciativas interministeriales (Pampa Azul).
- Organizaciones No Gubernamentales (ONGs).
- Fuerzas de seguridad.
- Sector Privado.
- Otras organizaciones (Bolsa de Cereales y Productos de Bahía Blanca).
- Ciudadanía.

Se observa, desde lo institucional, una centralidad geográfica de la Ciudad de Buenos Aires y La Plata, lejos de la costa marítima, por lo que en el marco de un MCI podría plantearse el fortalecimiento de las instituciones costeras y la formación de recursos humanos locales. En cuanto a lo organizacional, también resulta de importancia determinar roles y responsabilidades de gestión a escala provincial como municipal, favoreciendo colaboraciones y sinergia. Ejemplos de acciones concretas que podrían implementarse en la provincia de Buenos Aires desde el enfoque de un MCI son la evaluación de los sistemas de *by-pass* de arena en el entorno de los puertos (Mar del Plata y Quequén), y fomentar las iniciativas locales para la restauración de los sistemas dunares.



05.

HERRAMIENTAS PARA LA GESTIÓN COSTERA

Las herramientas disponibles para la gestión costera son variadas tanto en forma como en recursos necesarios, y en cantidad y calidad de la prestación. Por lo tanto, resulta fundamental conocer las distintas herramientas disponibles para poder llevar a cabo una mejor gestión costera en la provincia de Buenos Aires, sabiendo que la complementación entre las mismas redundará en una mejor toma de decisiones.

A continuación, se enumeran las principales herramientas que existen actualmente para contribuir desde la provincia de Buenos Aires a una gestión integrada del recurso costero. Específicamente, se detallan las posibilidades que ofrecen la modelación numérica, el atlas de riesgo costero, el monitoreo continuo y la utilización de bases de datos.

5.1 | MODELOS NUMÉRICOS

La modelación numérica es una herramienta cada vez más potente y confiable para caracterizar fenómenos naturales y para apoyar la toma de decisiones en la gestión costera, dado que permite analizar escenarios de variadas escalas temporales y espaciales y poner a prueba hipótesis sin tener que materializar físicamente aquello que se desea estudiar.

El potencial de los modelos numéricos para la comprensión de problemas de la dinámica costera se fortalece con el desarrollo de estrategias de monitoreo, ya que se necesitan observaciones de campo para calibrar y validar las modelaciones, garantizando la representatividad de los fenómenos que se estudien.

5.1.1 | MODELOS DESARROLLADOS PARA LA DPH

En el marco de esta Asistencia Técnica se implementaron modelos numéricos para poder estudiar detalladamente el impacto morfológico de diferentes tipos de intervenciones en zonas costeras piloto. Para eso se desarrollaron modelos de diferentes escalas espaciales (regionales y locales) que resuelven diferentes procesos físicos (modelos hidrodinámicos, modelos de oleaje, modelos sedimentológicos y morfológicos) (INA-UdelaR, 2020b). Para esta tarea se utilizó el sistema de modelación MIKE 21 (DHI, *Danish Hydraulics Institute*, Dinamarca), cuya licencia pertenece a la Dirección Provincial de Hidráulica (DPH) y fue puesta en valor durante esta Asistencia Técnica.

La posibilidad de representar modelos de detalle a escala local se debe a la aplicación de estrategias de modelos anidados, en donde modelos de mayor escala generan condiciones de borde para modelos de mayor resolución. Para esto, se implementó un modelo regional que incluye a todo el frente costero marítimo de Buenos Aires y a gran parte de la plataforma continental en ese entorno. El objetivo de este modelo es el de estudiar la hidrodinámica a gran escala en ese sector costero y forzar modelos anidados. Luego, por cada sitio de interés se generaron tres modelos con dominios locales (DL), incluyendo la idea de vincularlos a los datos de las Boyas Virtuales, e implementados en un entorno amplio del sitio en cuestión. Estos modelos anidan otros con mayor detalle en cada punto particular de estudio (dominios de detalle, DD). Los sitios de modelación de detalle se presentan a continuación (**Figura 5.1**), junto con sus principales características:

- **Necochea-Quequén (DD-NQ y DL-NQ):** zona representativa de la dinámica del *Sector Central*, entorno del Puerto Quequén, sector de playas de poca densidad poblacional, pero con alto atractivo turístico y paisajístico, de interés por el acentuado proceso erosivo activo en las costas de Quequén y por el progresivo proceso de acreción en las playas de Necochea.
- **Mar del Plata (DD-MDP y DL-MDP):** zona representativa de la dinámica del *Sector Central*, entorno del Puerto Mar del Plata, principal centro urbano de la costa marítima bonaerense, zona importante por las actividades pesqueras y turismo de sol y playa, tramo costero altamente intervenido con obras de infraestructura.
- **Las Toninas (DD-LT y DL-LT):** zona representativa de la dinámica del *Sector Noreste*, punto clave para la infraestructura en telecomunicaciones del país (sitio donde ingresan los cables de fibra óptica a la Argentina), típica localidad balnearia del Partido de La Costa (urbanización desarrollada en cuadrícula, a lo largo de la costa), sector de dunas costeras fuertemente antropizado.

Estos modelos de detalle se implementaron para demostrar un análisis posible desde la modelación numérica para cada una de las problemáticas principales de cada sitio. Este abordaje demuestra la gran utilidad y versatilidad de la modelación numérica como herramienta para proponer y evaluar la eficacia de distintas propuestas de solución a un determinado problema. Específicamente, se evaluaron los impactos de distintas intervenciones costeras (**Figura 5.2**): **a)** *by-pass* de arena en Puerto Quequén, **b)** trampas de sedimentos en Puerto Mar del Plata, **c)** espigones paralelos a la costa en Las Toninas.

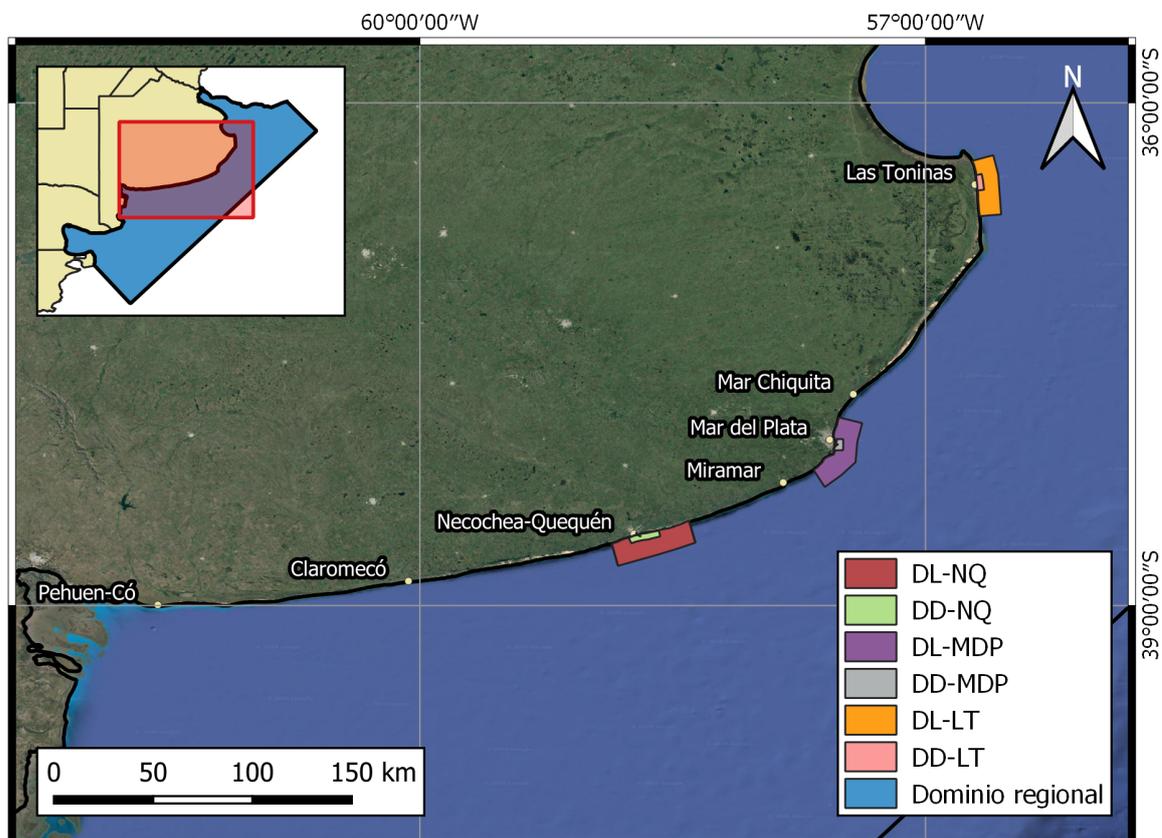


Figura 5.1. Dominios y ubicación de los modelos hidrodinámicos transferidos a la DPH.

El proceso de calibración/validación fue diferente en cada uno de los modelos locales debido a la disponibilidad de datos para contrastar simulaciones con observaciones. En el modelo Necochea-Quequén (DL-NQ) se trabajó sobre la hidrodinámica (niveles marea y altura significativa de oleaje), en el modelo Mar del Plata (DL-MDP) sobre la hidrodinámica (niveles de marea) y la morfología (evolución de perfiles batimétricos en la boca del puerto), y en el modelo Las Toninas (DL-LT) sobre la hidrodinámica (niveles de marea).

En el modelo Necochea-Quequén (DL-NQ), se implementó un sistema de *by-pass* de arena, que toma sedimentos desde una zona de acumulación (Necochea) y la deposita en una zona que se encuentra actualmente en retroceso (Bahía de los Vientos, Quequén). Esta posible intervención, apunta no sólo a restablecer el régimen de deriva que había previo a la construcción de las escolleras del puerto, sino que además se evita que ésta atraviese el canal de acceso, garantizando así la perdurabilidad de su calado.

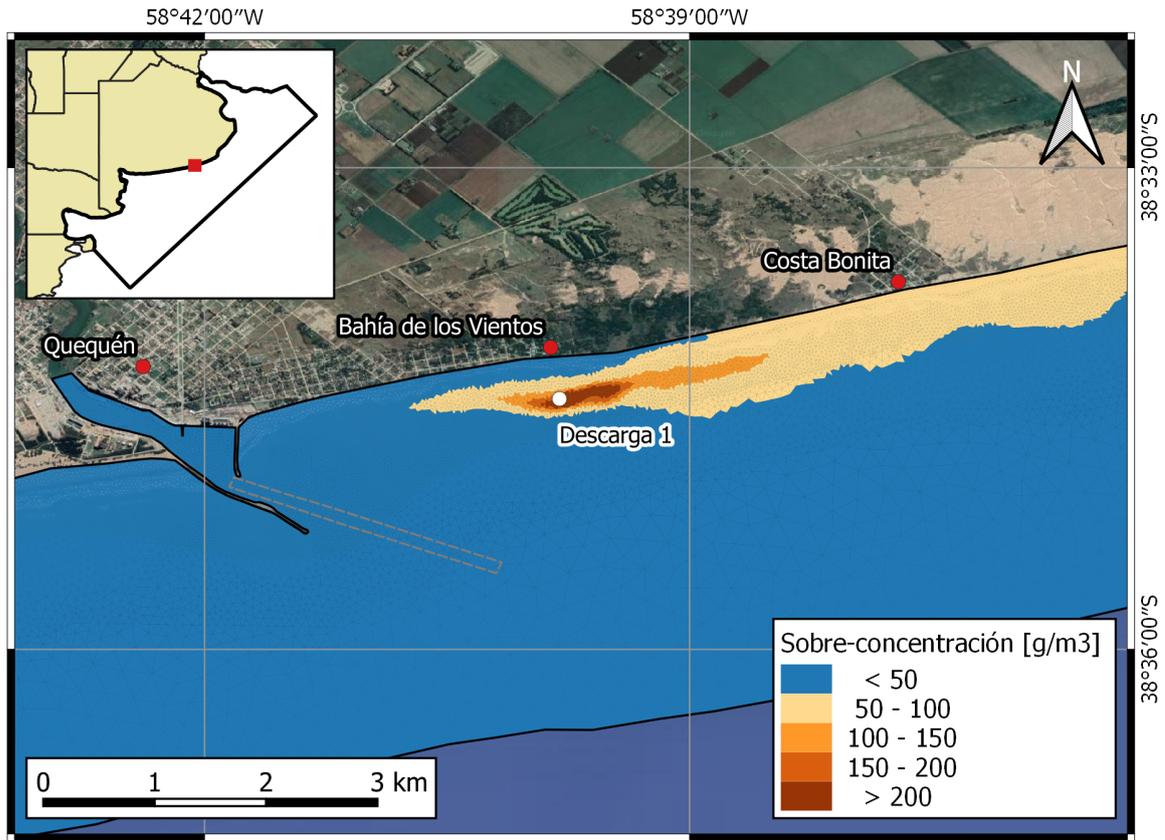
Este análisis replica la metodología propuesta por Reyes-Cabañas (2016): estimar la deriva litoral de la zona, sin tener en cuenta la presencia de las escolleras del puerto, evaluar distintas ubicaciones de la fuente en función de la hidrodinámica actual de la zona, y analizar el impacto del sistema de *by-pass* de arena a partir de la evolución de los perfiles de playa de la zona. Por lo tanto, la estrategia de simulación se basó en la modelación de una fuente localizada en Quequén que eroga un caudal líquido con una determinada concentración de sólidos (arena de Necochea). Luego, para demostrar la versatilidad de este tipo de abordaje se ensayaron varios escenarios que incluyeron la variación de la ubicación de la fuente de sedimentos y distintas características de oleaje.

En el modelo Mar del Plata (DL-MDP) se implementaron dos trampas de arena en las proximidades de la escollera Sur, en forma similar a lo propuesto por Luteijn (2013). El objetivo de las mismas es que el sedimento se deposite en una zona en donde no interfiera con las operaciones del puerto, y a su vez permita un fácil y más económico mantenimiento de los canales de acceso.

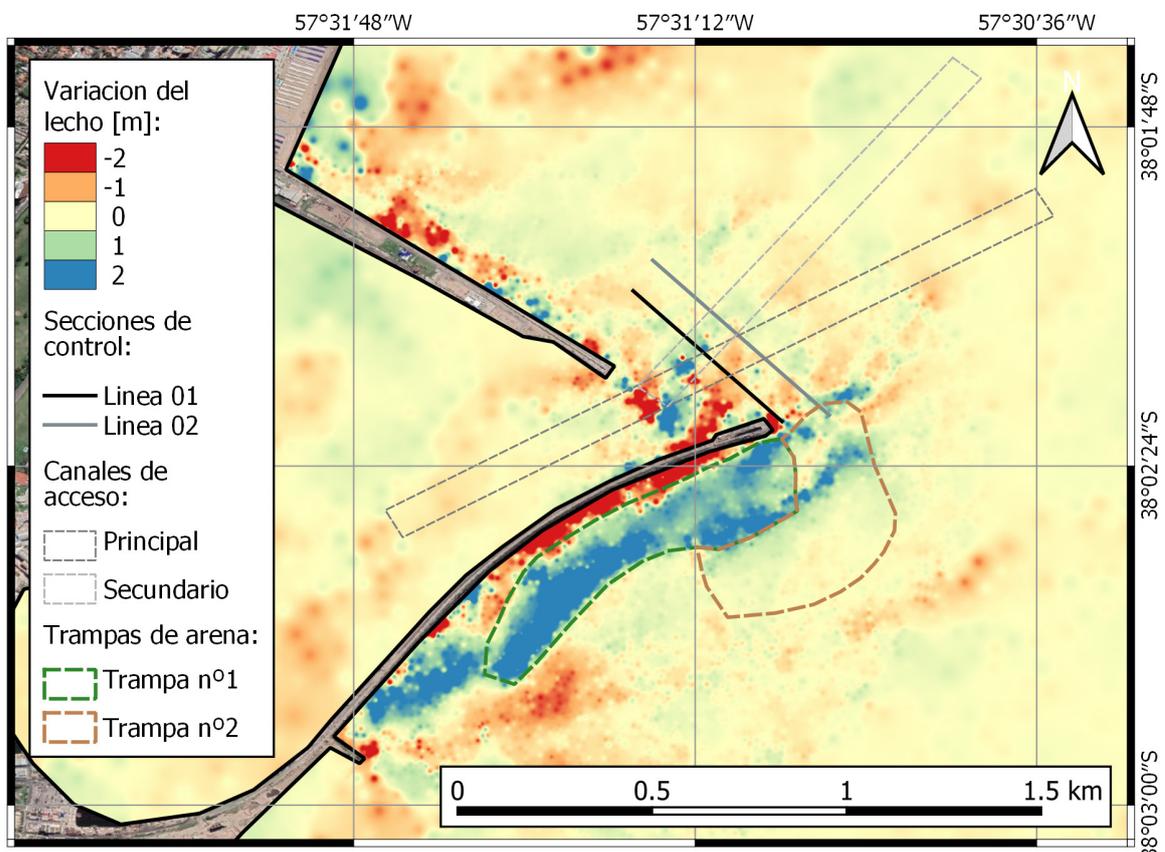
Esta modelación numérica, en este caso forzada con idénticos escenarios, permitió evaluar la performance de cada una de las trampas propuestas, analizando su impacto morfológico en los canales de acceso portuarios.

En el modelo Las Toninas (DL-LT), como intervención para contrarrestar la erosión costera, se evaluó la performance de tres espigones paralelos a la costa (como los construidos al sur de Mar del Plata; Sciarrone et al., 2012). Para esto se predimensionaron las estructuras y se analizó su comportamiento de acuerdo a dos escenarios diferentes de oleaje.

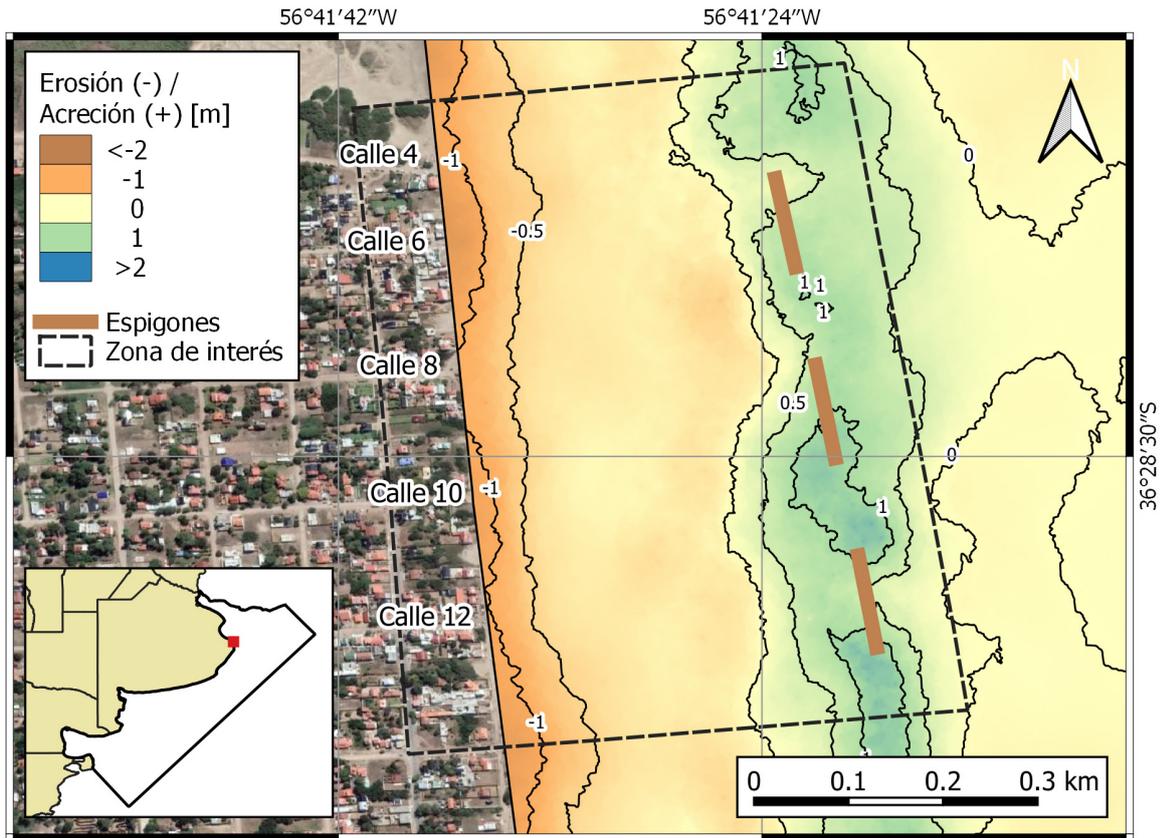
Estas simulaciones permitieron evaluar los alcances de los beneficios de una obra de ese tipo en ese tramo costero. Los primeros resultados obtenidos lograron establecer pautas para mejorar las condiciones de diseño de la obra y su ubicación, y condiciones hidrodinámicas (específicamente oleaje) bajo las cuales la intervención estudiada ofrece mejor performance.



a) Sistema de *by-pass* de arena en Puerto Quequén.



b) Trampas de sedimentos en Puerto Mar del Plata.



c) Espigones paralelos a la costa en Las Toninas.
Figura 5.3. Impacto de intervenciones costeras utilizando modelación numérica.

Al igual que con los modelos anteriores, se implementaron una serie de modelos específicos para la modelación numérica orientada a la estimación de tasas de transporte de sedimentos a lo largo de la costa marítima bonaerense, con el objetivo de identificar fundamentalmente volúmenes anuales correspondientes a los principales centros urbanos y áreas de particular interés. Para esta tarea se utilizó el sistema de modelación LITPACK (DHI, *Danish Hydraulics Institute*, Dinamarca), cuya licencia pertenece a la Dirección Provincial de Hidráulica (DPH) y fue puesta en valor durante esta Asistencia Técnica.

El transporte litoral de los sedimentos a lo largo de la costa constituye una de las variables fundamentales para la caracterización morfológica del área de estudio. Este proceso depende fundamentalmente de la acción de las olas propagadas hasta las zonas costeras y de la variación de los niveles de la marea. La información necesaria para evaluar el transporte litoral incluye cuatro componentes principales: **i)** características de oleaje, **ii)** variaciones de los niveles de mar, **iii)** geometría del perfil de playa, y **iv)** características granulométricas de los sedimentos.

La definición de los perfiles sobre los cuales se desarrollaron los cálculos se realizó mediante la utilización de la información topobatemétrica disponible (cartas batimétricas del SHN y perfiles de playa observados por el Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario, UNMdP/CIC), junto con las características granulométricas de los sedimentos asociadas a dichos perfiles. Para la caracterización del oleaje y las variaciones de nivel del mar se

utilizó la fuente de datos generada por esta Asistencia Técnica mediante el análisis retrospectivo (*hindcast*).

El Sistema LITPACK se encuentra diseñado para abordar la problemática vinculada al análisis de los cambios morfológicos de largo plazo sobre una línea de costa, lo cual requiere una comprensión del transporte litoral en la región de estudio. En este caso se utilizó para caracterizar la deriva litoral asociada a cada región y Partido de La Costa marítima bonaerense (**Figura 5.3**). Además de permitir el cálculo de la deriva litoral y permitir predecir la evolución natural de la línea de costa, con LITPACK se puede analizar la influencia de modificaciones debido al uso de estructuras marinas como puertos, espigones, muelles, revestimientos, etc.

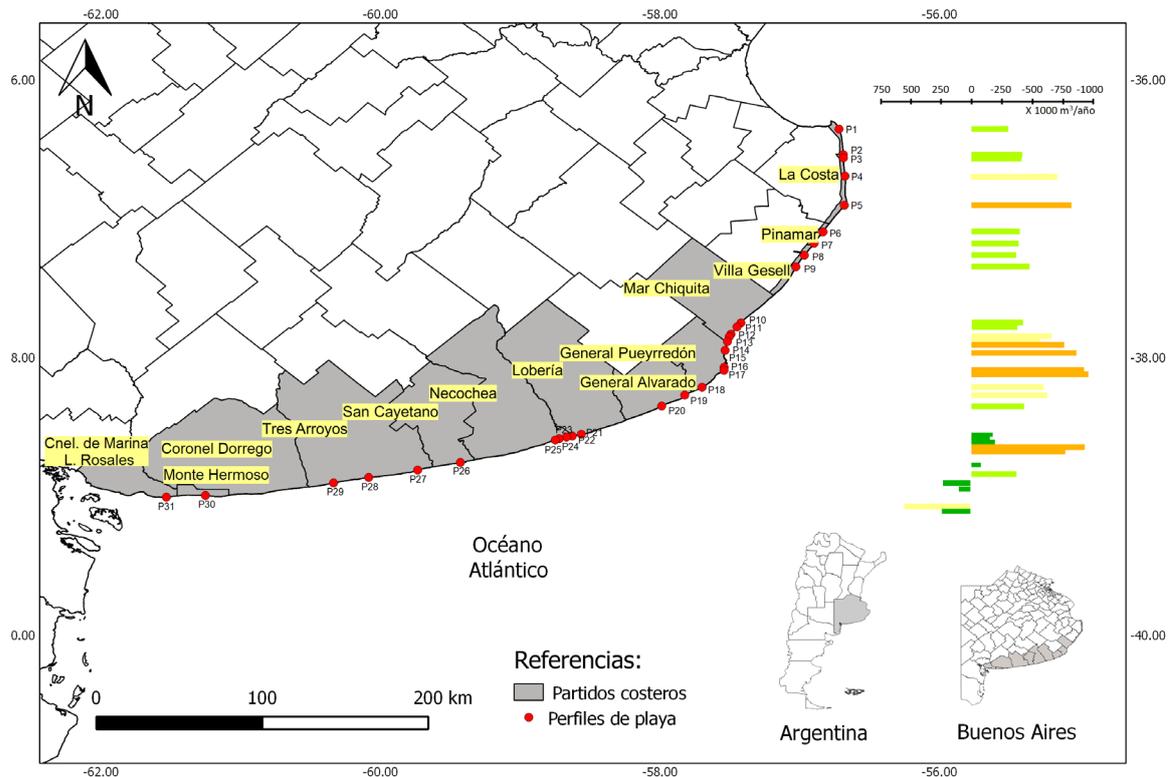


Figura 5.3. Tasas de transporte litoral asociadas a los perfiles de playa observados representativos de cada partido.

5.1.2 | OTRA POSIBILIDAD DE MODELACIÓN

Los tres modelos locales de detalle aquí presentados, implementados bajo el sistema MIKE 21 (DHI, Dinamarca), ofrecen una primera aproximación a la evaluación de la implantación de obras de infraestructura costera. En estos casos se evalúan características de diseño de las obras (sistema de *by-pass* de arena, trampa de sedimentos o rompeolas) e impactos hidráulicos y morfológicos, bajo la acción de diferentes condiciones hidrodinámicas (niveles de marea y oleaje). Además, estos modelos u otros a implementar bajo la misma metodología, podrían pensarse para responder preguntas asociadas a otro tipo de intervenciones costeras:

- performance de espigones perpendiculares a la costa
- evaluación de rellenos de arena
- impacto de desagües pluviales que finalizan en las playas
- etc.

Bajo el otro paradigma de modelación, llevado a cabo en esta Asistencia Técnica con el sistema LITPACK (DHI, *Danish Hydraulics Institute*, Dinamarca) y que tiene que ver con el análisis de procesos litorales y la dinámica de la línea de costa, también se abren nuevas posibilidades de modelación. Al momento, la aproximación del transporte litoral en todo el tramo costero estudiado de la costa bonaerense, fue realizada en función de unos pocos perfiles de playa que presentan desigual distribución. Por lo tanto, un mayor esfuerzo en el relevamiento de topografía de playas permitiría una mejor discretización de ese cálculo. Además, este tipo de modelación no solo debería implementarse para la evaluación de procesos litorales a escala regional, sino también para analizar la evolución de la línea de costa a largo plazo ante la posible implantación que cualquier tipo de infraestructura costera (como las mencionadas en el párrafo anterior).

Durante las actividades de capacitación previstas en la Asistencia Técnica, además del software vinculado a la licencia perteneciente a la Dirección Provincial de Hidráulica (DPH), se difundieron las ventajas que ofrece el software XBeach desarrollado en Deltares (Países Bajos) (Roelvink et al., 2009) para estudiar el impacto de temporales sobre determinados sectores costeros tanto unidimensionalmente (sobre el perfil de playa) como bidimensionalmente. Este software es de libre disponibilidad y de bajo costo computacional, y sería importante que se comience a utilizar en aplicaciones de la costa marítima bonaerense.

La simulación numérica de diferentes problemas vinculados a la gestión costera utilizando el software XBeach, permitiría tomar mejores decisiones en los siguientes casos que habitualmente se reconocen en la costa provincial:

- rellenos de balnearios en la previa de la temporada de verano
- nivelación de perfiles para la instalación de infraestructura de balnearios
- nivelación de perfiles para el desarrollo de eventos deportivos
- evaluación de la modificación de la estructura de paradores costeros
- impacto de la presencia de vegetación en dunas
- impacto de la extracción ilegal de arena en playas.

🕒 5.2 | ATLAS DE RIESGO

En el marco de esta Asistencia Técnica, se elaboró un Atlas de Riesgo Costero para la costa marítima de la provincia de Buenos Aires, herramienta necesaria para avanzar hacia un manejo costero integrado de esta región (INA-UdelaR, 2020d). Para su obtención, se utilizó la información generada por los modelos numéricos implementados y se aplicó una serie de herramientas de cálculo simplificadas (*SimpleCoast*²) para el análisis de problemáticas costeras orientadas a la gestión. Esto permitió el desarrollo de un amplio análisis orientado a caracterizar el riesgo costero, evaluando la dinámica litoral en 53 perfiles de playa distribuidos a lo largo de una extensión de más de 600 km.

El Atlas de Riesgo Costero consiste en una serie de mapas que permiten evaluar el impacto

² <http://www.simplecoast.com/>

de temporales con diferente grado de severidad sobre la costa, tanto para las condiciones actuales del clima como para escenarios futuros que proyectan diferentes incrementos en el nivel medio del mar (NMM).

El desarrollo del Atlas de Riesgo Costero consistió en estimar los impactos del oleaje y niveles extremos de marea evaluando los procesos de erosión e inundación que pueden desarrollarse en cada ubicación de estudio (perfil de playa) para diferentes escenarios. Sobre la base de esta idea se desarrollaron las siguientes etapas:

- **Cuantificación de la peligrosidad.** Consiste en la identificación de escenarios de análisis definidos a partir de la relación entre las variables Altura Significativa del Oleaje (Hs) y Niveles de Marea (N) y sus correspondientes períodos de retorno (Tr).
- **Evaluación del impacto de las amenazas costeras.** Cuantificación de los efectos de las amenazas costeras en términos de altura de inundación de la playa y erosión costera.
- **Identificación de un índice de riesgo costero relativo.** A partir de la utilización de información sobre los efectos de la peligrosidad, la exposición y la vulnerabilidad, se evaluó el riesgo costero relativo considerando diferentes períodos de retorno (Tr) que caracterizan el nivel de la amenaza.

Para la cuantificación de la peligrosidad de las amenazas costeras, como información de base fueron utilizados los resultados del análisis de valores extremos de las alturas del oleaje y los niveles de marea correspondientes a distintas boyas virtuales de la línea más cercana a la costa. La información referida al oleaje fue propagada desde esas ubicaciones hasta zonas de baja profundidad cercanas a cada playa utilizando modelación numérica, con el propósito de representar adecuadamente la transformación de las olas para poder estimar los impactos en términos de la inundación y la erosión de la playa.

La evaluación del impacto de las amenazas costeras se realizó estudiando los niveles de inundación y la erosión sobre el perfil de playa. Se utilizaron los módulos de cálculo '*Flooding*' y '*Littoral*' de *SimpleCoast* (Giardino et al., 2017), para evaluar los niveles de inundación y la erosión sobre el perfil de playa respectivamente. Los resultados de este análisis ya fueron presentados en las **Figuras 3.11** y **3.12** (inundación) y **Figura 3.13** (erosión).

La caracterización del riesgo costero se basó en la combinación de los índices de vulnerabilidad y peligrosidad. El índice de riesgo final fue computado como la multiplicación entre el índice de vulnerabilidad y el índice de peligrosidad. Este índice de riesgo se ofrece para distintos períodos de retorno, tanto para el escenario presente como para el escenario futuro más crítico (RCP 8.5) en los años 2045 y 2100.

El **índice de vulnerabilidad** contempla el concepto de exposición y las características sociales y económicas de la población expuesta a las amenazas. En este caso, se trabajó con el **índice de vulnerabilidad** presentado por Natenzon y Seattone Passe (2015) (**Figura 5.4**), desarrollado a escala nacional, y que analiza variables e indicadores agrupados en tres dimensiones: condiciones sociales, condiciones habitacionales y condiciones económicas de la población expuesta. Este índice fue construido basado en el Censo Nacional

de Población, Hogares y Vivienda del 2010 (INDEC) y formó parte de la Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de La Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

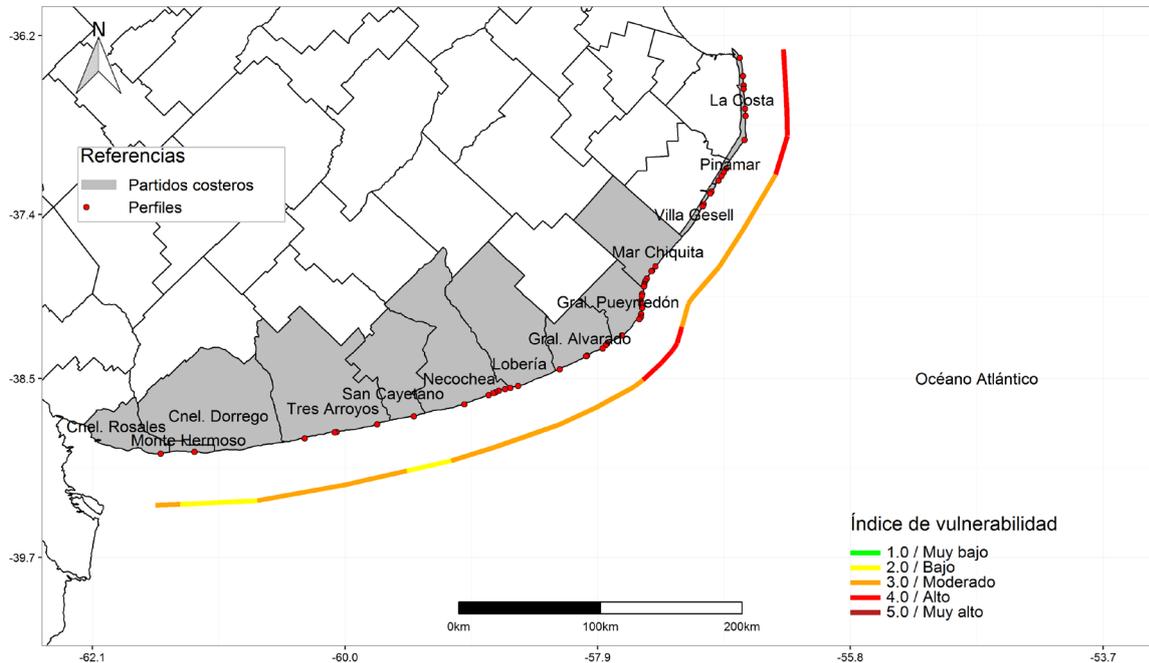
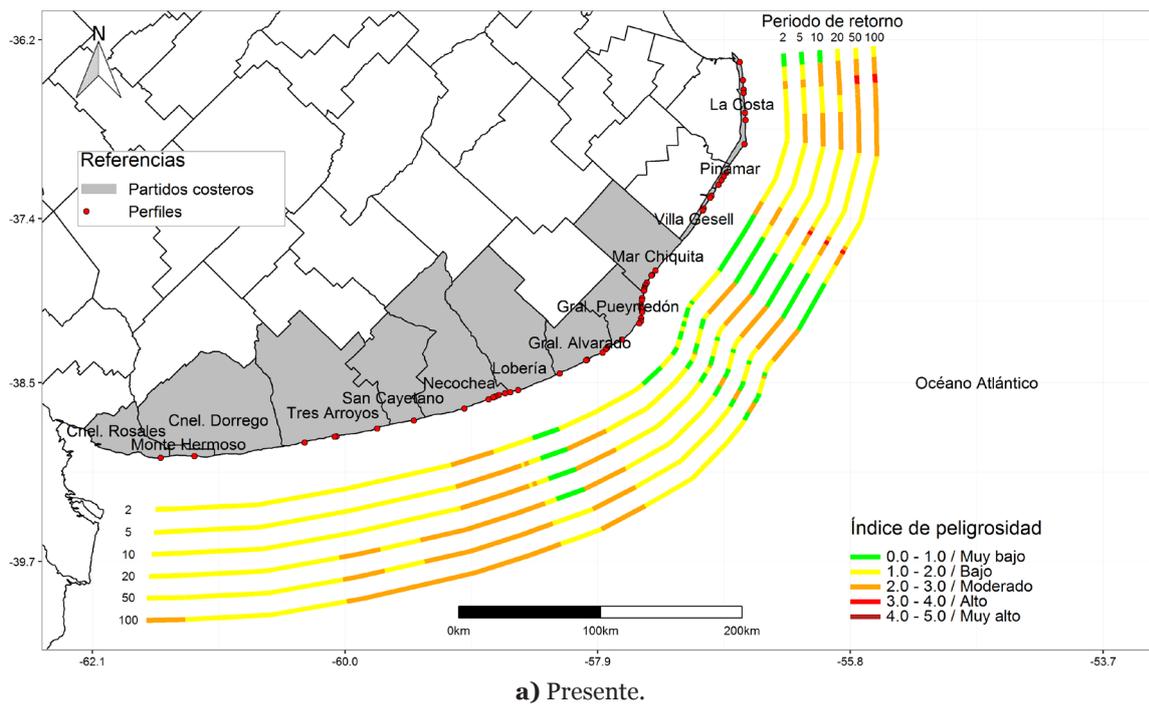
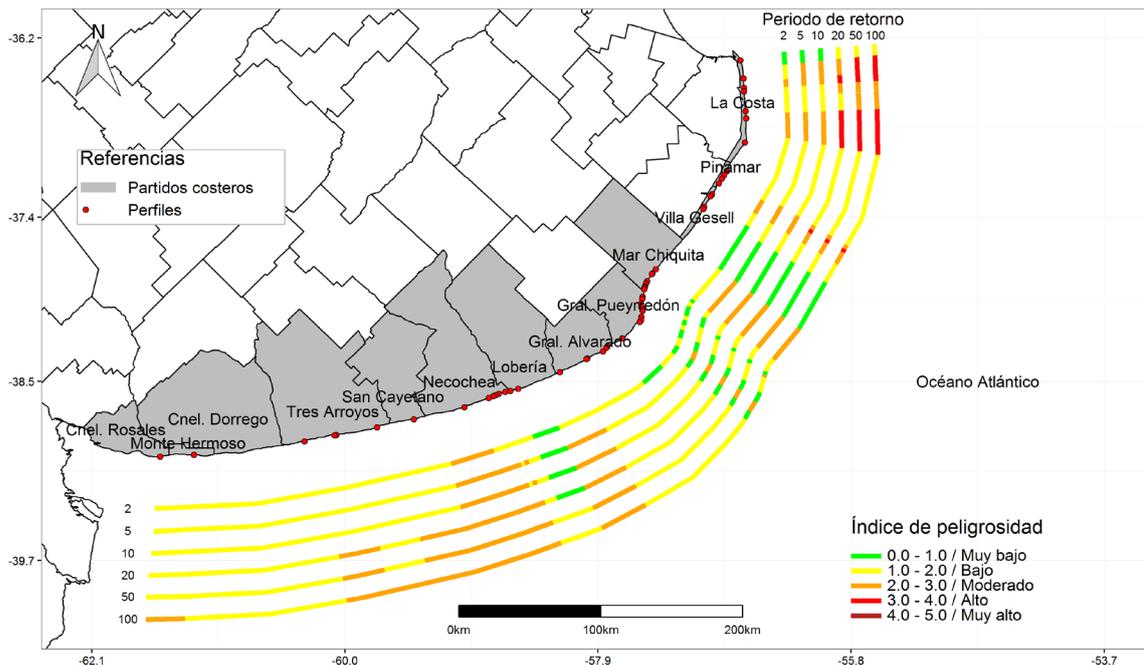


Figura 5.4. Índice de vulnerabilidad.

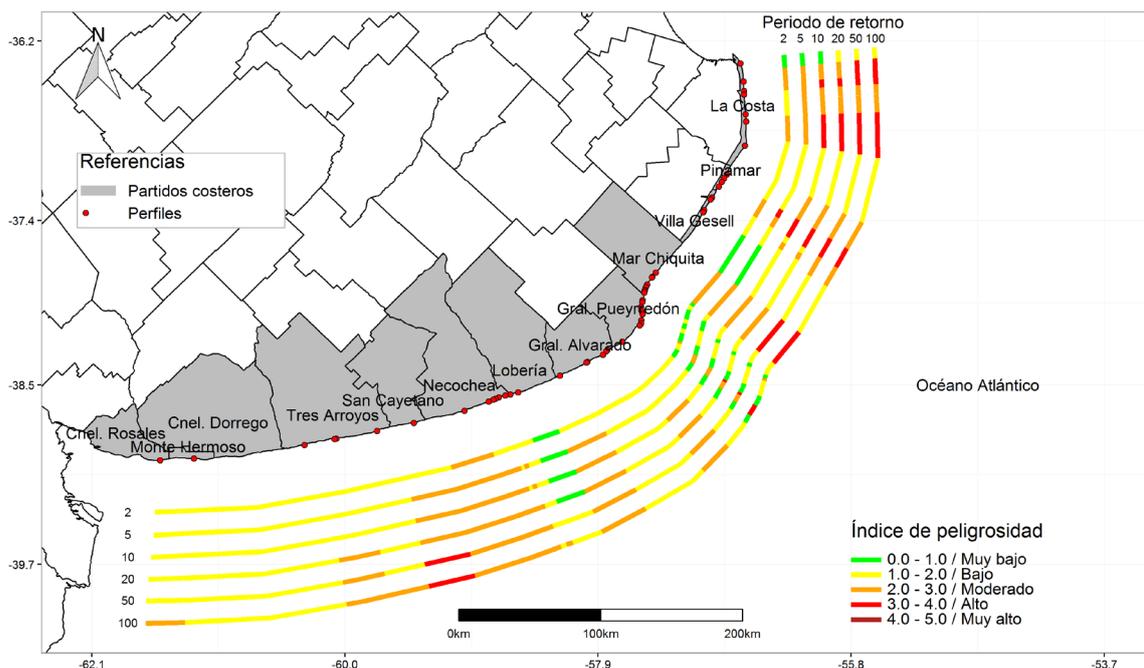
El **índice de peligrosidad** está compuesto por dos indicadores, **índice de erosión** e **índice de inundación**, que representan la erosión potencial de la playa frente a una amenaza (temporales) y la cota de inundación asociada a los fenómenos de sobre elevación del nivel de agua por efectos meteorológicos y por la acción de las olas (marea meteorológica, *set-up* del oleaje, *run-up*, y eventualmente sobrepaso). Ambos indicadores se promedian para obtener el **índice de Peligrosidad**. En la **Figura 5.5** se presentan estos índices para la situación presente y un escenario futuro evaluado al 2045 y al 2100.



a) Presente.



b) 2045 (Escenario RCP 8.5).

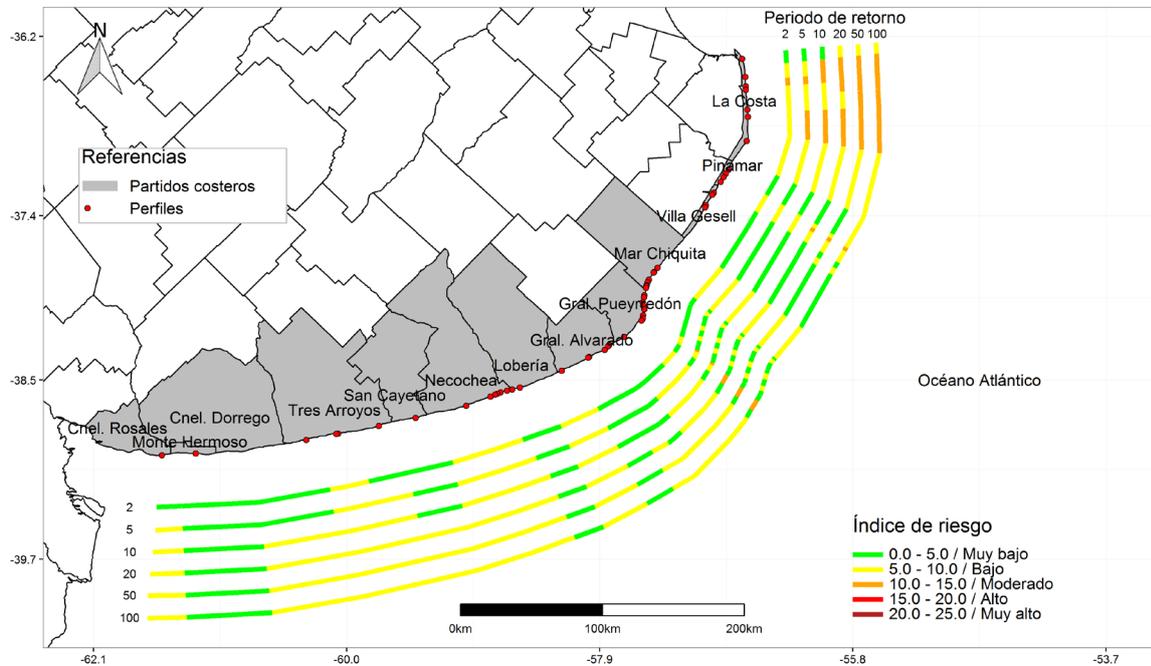


c) 2100 (Escenario RCP 8.5)

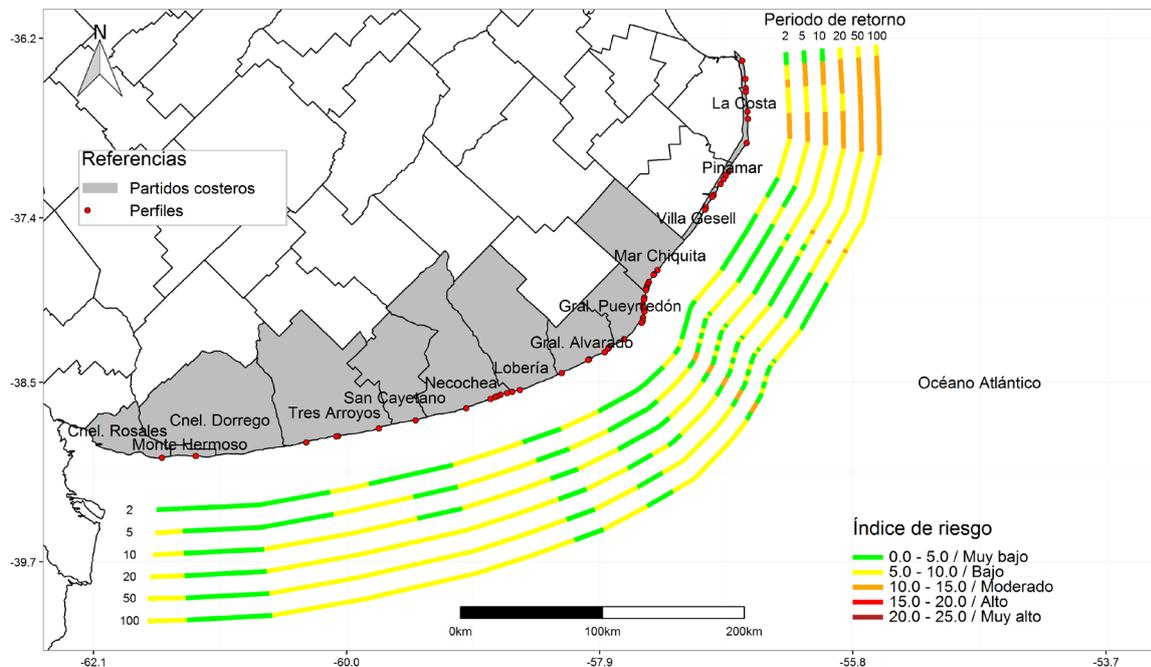
Figura 5.5. Índice de peligrosidad.

En la **Figura 5.6** se presentan los resultados del Índice de riesgo para el presente y el escenario futuro. Para el presente, la distribución del riesgo a lo largo de la franja costera analizada muestra el predominio de niveles bajo/muy bajo que se incrementan levemente con el aumento del período de retorno considerado. El promedio de toda el área de estudio, a pesar de algunos casos puntuales, da un valor del indicador que refiere a un riesgo muy bajo para el período de retorno de 2 años y bajo para el rango 5 a 10 años de período de retorno. Hacia el futuro, en la zona del Partido de La Costa se presenta un incremento del riesgo hasta una caracterización de alto, dependiendo del período de retorno considerado.

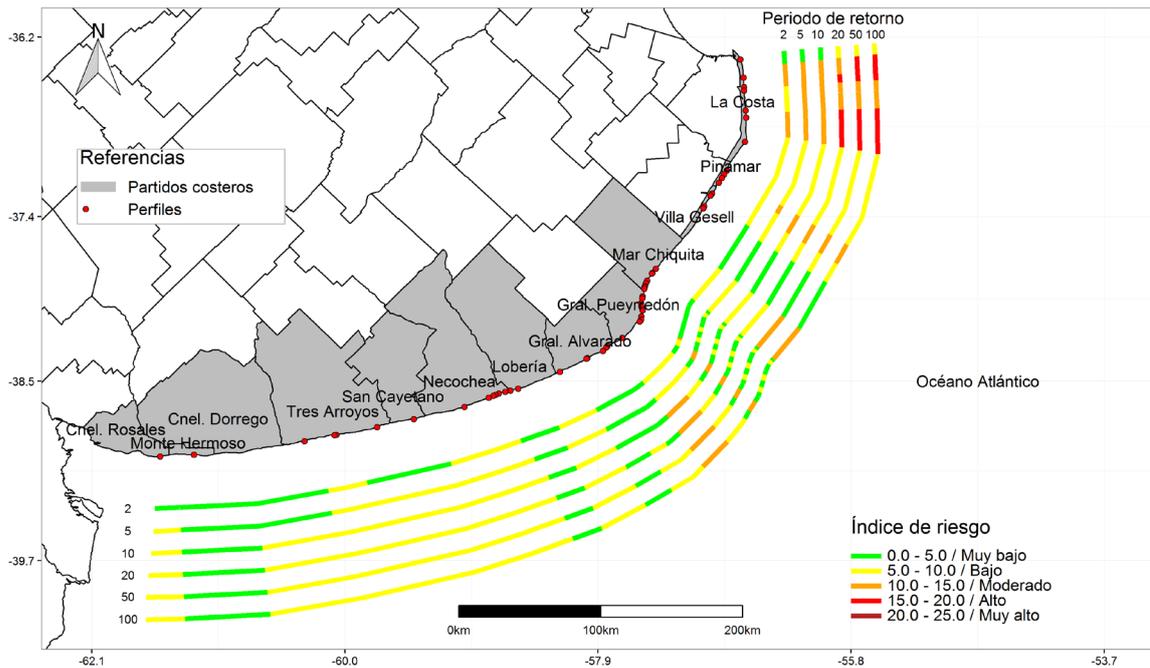
Todo el detalle del Atlas de Riesgo Costero de la costa marítima bonaerense, se encuentra libremente disponible en el geportal del Ministerio de Infraestructura y Servicios Públicos de la provincia de Buenos Aires y dentro de la oferta de recursos geográficos del Instituto Nacional del Agua.



a) Presente.



b) 2045 (Escenario RCP 8.5).



c) 2100 (Escenario RCP 8.5)
Figura 5.6. Índice de riesgo costero.

5.3 | MONITOREO CONTINUO

El monitoreo continuo de variables de la dinámica costera consiste en el seguimiento de la evolución de variables forzantes del sistema y los impactos que provocan. La comprensión de estas variables colabora en un mejor entendimiento de la hidrodinámica y morfología del sistema. Estas observaciones deben ser sistemáticas, permitiendo su intercomparación y favoreciendo análisis integrales.

Son variadas las formas de monitorear procesos costeros. Los instrumentos de medición *in situ*, el sensoriamiento remoto y la observación ciudadana, son algunas de las metodologías de recolección de datos que, con distintas prestaciones, alcances y costos, permitirían sustentar una mejor gestión costera.

En la Argentina existen distintos organismos que tienen a disposición instrumental para efectuar relevamientos en la costa marítima de la provincia de Buenos Aires (un detalle sobre los organismos competentes y el tipo de equipos disponibles se encuentra en INA-UdelaR, 2019a). La provincia de Buenos Aires actualmente cuenta con un gran déficit en el área de observación, tanto por la falta de monitoreo, como la falta de integración con otros tipos de información en caso de que este exista.

5.3.1 | HIDRODINÁMICA

En la **Figura 5.7** se presentan los puntos de medición directa de variables que hacen a la hidrodinámica de costa marítima bonaerense. Se observa que estos sitios de monitoreo se encuentran muy dispersos y los tipos de variables que se miden varían de punto a punto.

Incluso, para un determinado punto de medición, los relevamientos efectuados suelen ser de períodos acotados (unos pocos años) o con interrupciones prolongadas en el tiempo. Aún si estos equipos de medición funcionaran permanentemente, se observa que existen grandes distancias entre los puntos que miden las mismas variables: los olígrafos están distanciados unos 270 km entre sí, y algo similar ocurre con los mareógrafos.

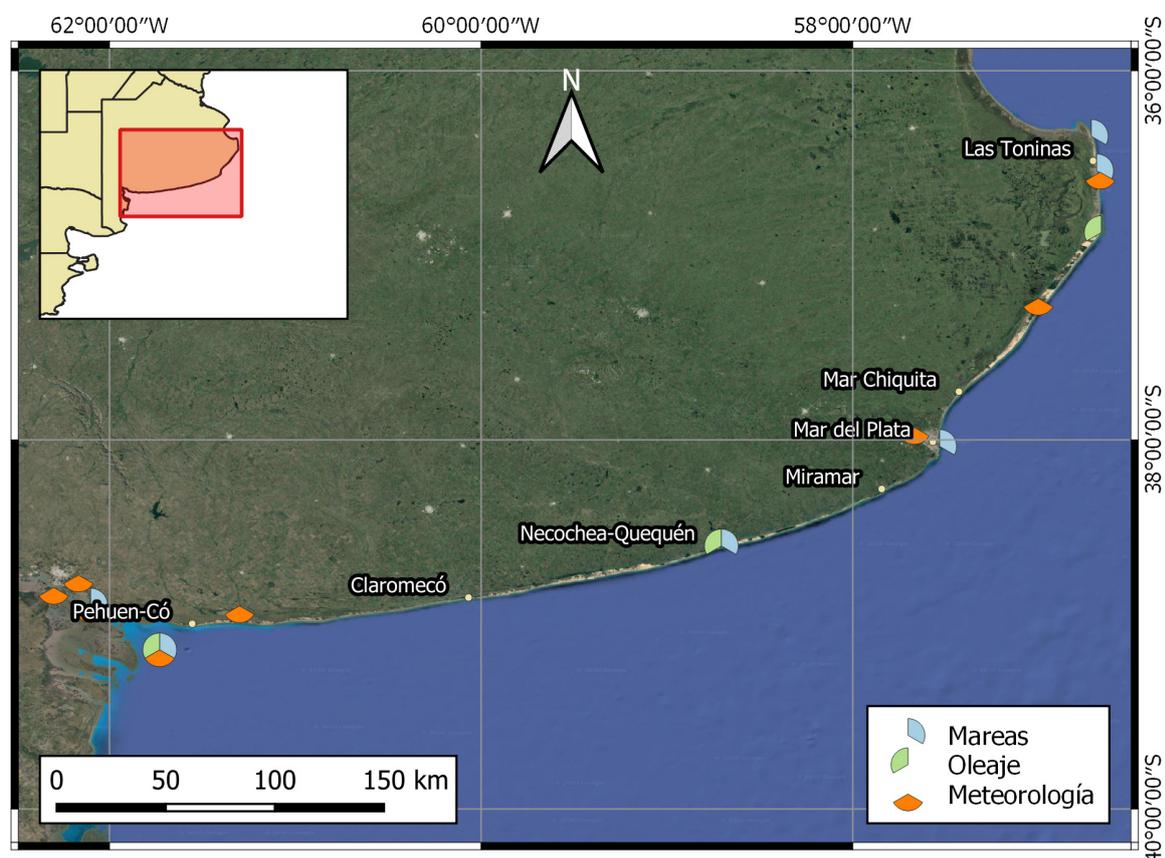


Figura 5.7. Puntos de observación y tipo de variables observadas.

Las estaciones meteorológicas existentes no se encuentran sobre la línea de costa, por lo que resulta difícil vincular las condiciones de viento que allí se miden con lo que se observa en el litoral costero y fuerzan la dinámica de niveles y oleaje. En este sentido, se impone la necesidad de planificar instrumental de medición de variables meteorológicas sobre la línea de costa o en boyas costeras.

De reciente instalación, se suman a esta red los radares del Sistema Nacional de Radares Meteorológicos (SINARAME), uno en Mar del Plata (RMA 6) y otro en Bahía Blanca (RMA 10). El RMA 6 ya se encuentra operativo y ha permitido a organismos tomadores de decisión tomar los recaudos necesarios ante la amenaza de los fenómenos meteorológicos durante la temporada estival, mientras que el RMA 10 aún se encuentra en fase de calibración. Dada la cobertura de ambos instrumentos sobre la costa bonaerense, resulta indispensable contar con el potencial que tienen para colaborar en la gestión.

Las mediciones de niveles se realizan en muy pocos puntos y no se consiguen series históricas que puedan apoyar análisis basados en la estadística de esta variable. En este tramo costero se debería considerar la incorporación de varios sensores de nivel, representativos

de las tres zonas anteriormente delimitadas (*Sudoeste, Central y Noreste*) y articulados con la localización de los puertos.

Para esto se debería pensar en al menos, sumar instrumentos de acuerdo a las localizaciones donde el SHN cuenta con puertos principales para la predicción de marea astronómica: Monte Hermoso, Puerto Quequén, Pinamar, Mar de Ajó o Santa Teresita.

La medición directa de oleaje resulta muy escasa en toda la costa marítima bonaerense. Aun conociendo que resulta la variable de mayor dificultad de medición para la comprensión hidrodinámica, se deben redoblar los esfuerzos como para incrementar las observaciones de este tipo, principalmente en entornos portuarios como en zonas inexploradas en esta materia.

Se recomienda vincular las mediciones de este tipo a mecanismos ya existentes en la provincia de Buenos Aires, como por ejemplo el SIMATH (Sistema Integrado de Monitoreo y Alerta Temprana Hidroambiental), que consiste en un programa del Gobierno de la provincia de Buenos Aires instrumentado por el Ministerio de Ciencia, Tecnología e Innovación a través de la CIC.

🕒 5.3.2 | TOPOBATIMETRÍAS

La composición topobatimétrica de la costa marítima bonaerense consiste en una información de base sumamente necesaria, tanto para la implementación de modelos numéricos como para el seguimiento de los cambios morfológicos que impone la dinámica costera. Esta definición implica un conocimiento acabado de la topografía costera, la batimetría litoral y la caracterización del material que las componen.

PERFILES DE PLAYA

La topografía de las playas de arena bonaerenses resulta dinámica y evoluciona con el tiempo. El seguimiento de su morfología permite una caracterización temporal de las tasas de erosión o acreción que se dan en determinada localización.

La información de perfiles de playa actualmente disponible en la provincia de Buenos Aires consiste en los relevamientos históricamente realizados por el Instituto de Geología de Costas y del Cuaternario (UNMdP/CIC). La distribución de estos perfiles ha evolucionado de acuerdo al interés de esta institución por dar respuesta a determinadas problemáticas y a motivaciones académicas. Por lo tanto, su temporalidad y distribución espacial es despareja, concentrándose en el entorno de Mar del Plata, con una relativamente buena representación del *Sector Noreste* y un escaso desarrollo en el *Sector Sudoeste*.

El relevamiento de perfiles de playa representa la caracterización tradicional de la topografía costera. Para esto, se realiza el levantamiento topográfico en transectas perpendiculares a la línea de costa (por ejemplo, con una estación total), separadas entre sí una cierta distancia. Actualmente, las posibilidades que ofrece un instrumento como el GPS Diferencial (herramienta de costo alcanzable para un presupuesto municipal o un consorcio

portuario), tanto en tiempo, posicionamiento y continuidad espacial de los datos, obliga a pensar estrategias más dinámicas de monitoreo. Por lo tanto, desde la gestión provincial se debería abordar una estrategia integral, en la que tanto los municipios como los consorcios portuarios (en el entorno de la implantación de cada puerto) puedan aportar a un monitoreo sistemático y georreferenciado de la evolución de la topografía de playas.

BATIMETRÍAS

La información batimétrica utilizada para los distintos modelos numéricos de la costa marítima bonaerense proviene principalmente de modelos globales (por ejemplo, GEBCO *General Bathymetric Chart of the Oceans*) o de elaboraciones a escala regional como la que ofrece en sus cartas náuticas el Servicio de Hidrografía Naval (SHN). Esta información, digitalizada y que forma parte de la base de datos de esta Asistencia Técnica (INA-UdelaR, 2019c), resulta suficiente hasta determinada escala, para problemas localizados y de detalle se requieren batimetrías de detalle.

Dada la importancia de la determinación de la deriva litoral, un planteo de relevamientos sistemáticos de batimetrías debe ser consistente con el monitoreo de topografía de playas. Esto se sustenta en la necesidad de extender los perfiles transversales hacia los primeros metros mar adentro, donde se concentra el transporte de sedimentos, para un adecuado seguimiento de la estimación de la deriva litoral.

Las batimetrías localizadas en este tramo de costa marítima en general son realizadas por los consorcios portuarios. En la **Figura 5.8** se presenta un caso de Puerto Quequén, mostrándose el alcance de estos relevamientos que en general tienen que ver con el seguimiento de los accesos al puerto.

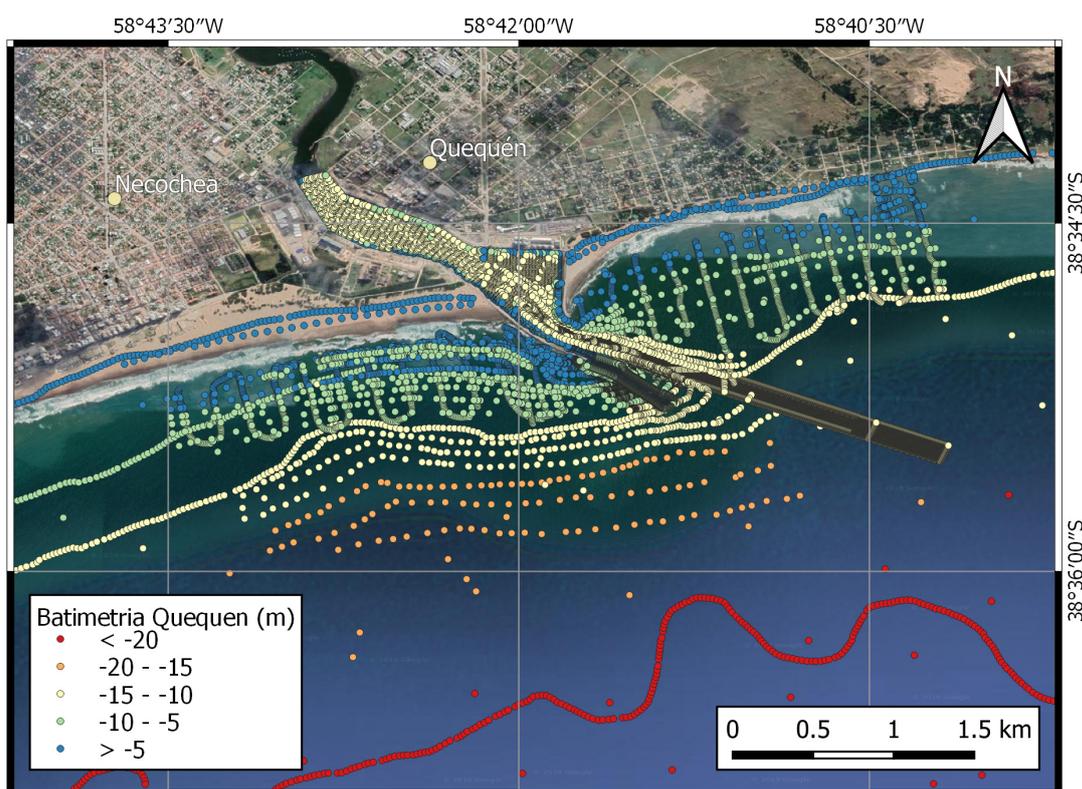


Figura 5.8. Batimetría localizada en Puerto Quequén.

Es reconocido que, por los costos que representa y la hostilidad del medio, los relevamientos batimétricos costeros marinos contemplan cierta dificultad. Por eso es que, para seguimientos sistemáticos en todo este tramo costero, se recomienda al menos un sitio por cada sector costero (*Sudoeste, Central y Noreste*).

SEDIMENTOS

Un adecuado conocimiento del tipo de sedimentos que integra cada perfil costero resulta indispensable para una buena caracterización sedimentológica y morfológica de cada tramo.

La información de las características del sedimento en las playas bonaerenses es muy dispersa, obtenida en fechas muy diferentes y presenta tramos faltantes. Por lo tanto, se requiere completar la caracterización granulométrica de los sedimentos en todo el tramo de playas provinciales, describiendo la totalidad de la curva de graduación.

5.3.3 | OTRAS ALTERNATIVAS DE OBSERVACIONES

INSTRUMENTACIÓN *IN SITU*

La instrumentación *in situ*, con el objetivo de incrementar puntos de medición en todo el tramo costero marítimo de la provincia de Buenos Aires, puede abordarse desde dos estrategias: sitios fijos y sitios móviles de observación.

Dada la escasez de observaciones sistemáticas en el tramo costero estudiado, necesariamente deben incorporarse sitios fijos de medición. Principalmente se necesitarían sumar puntos de medición de niveles de marea (instrumental más accesible), y en la medida de las posibilidades, de monitoreo de oleaje.

Para la observación de niveles de marea existe una variada oferta de sensores que permiten medir y transmitir este tipo de datos. Dadas las proyecciones de cambio climático en cuanto a la variación del nivel medio del mar, se torna aún más importante la incorporación de un seguimiento a escala regional de esta variable. Para su instalación, se pueden aprovechar estructuras costeras existentes como ser muelles, espigones, escolleras, etc.

La medición del oleaje requiere de instrumental algo más complejo y costoso, por lo que se podría aspirar a obtener mediciones de cada uno de los sectores de este tramo costero (*Noreste, Central y Sudoeste*). Para este tipo de mediciones existen también variadas opciones, pero se destaca la experiencia de las Estaciones de Monitoreo Ambiental Costero (EMAC) del Instituto Argentino de Oceanografía (IADO, CONICET-Universidad Nacional del Sur) en la provincia de Buenos Aires, ya con varios años de desarrollo.

Muchos de los instrumentos que pueden ser adquiridos para este tipo de mediciones contemplan el registro de otras variables, como pueden ser temperatura, conductividad y/o turbidez, que podrían resultar de interés para otros aspectos de la gestión costera integrada.

Además de incrementar puntos fijos de observación, se puede considerar la posibilidad

de sumar puntos móviles. Para esta propuesta se debería contar con instrumental que permita ser trasladado por diferentes zonas de la costa bonaerense. Una alternativa para este tipo de relevamientos es la que ofrecen los perfiladores de corrientes acústico Doppler (ADCP).

Dentro de los ADCP disponibles, en la gama de instrumentos pensados para ambientes costeros y diseñados para medir altura y dirección de olas, se puede contar con varios proveedores y opciones. Este tipo de instrumentos, además de registrar olas de todo tipo, también puede medir velocidades y direcciones de las corrientes por capas desde el fondo hasta la superficie. Se ofrece en distintas frecuencias acústicas, lo que permite medir en distintos rangos de profundidad, y suelen fondearse en una estructura estable. Pueden ser utilizados transmitiendo los datos (con varias opciones de comunicación) o guardando la información en una memoria interna. Estos sistemas autocontenidos se alimentan con baterías, y se ofrecen múltiples opciones de observación que permiten fondeos de hasta 4 meses de duración.

Las mediciones en puntos móviles podrían permitir la asociación de la provincia de Buenos Aires con otros actores ligados a la gestión costera integrada a quienes les interese este tipo de información, compartiendo logística, operaciones y procesamiento de la información. Otra de las ventajas que ofrecerían este tipo de mediciones sería la de realizar observaciones en los puntos donde se ubican las boyas virtuales permitiendo una validación adicional de cada una de ellas. También se podrían realizar estrategias combinadas de medición simultánea de alguna variable en el punto de la boya virtual y en la costa.

IMÁGENES SATELITALES

Para evaluar el estado y las tendencias en el cambio de los recursos costeros en grandes áreas y dar apoyo a un manejo integrado, cada vez más se utilizan las tecnologías de teledetección. Las capacidades sinópticas de estas técnicas de teledetección permiten evaluaciones que no son posibles de hacer con métodos de observación tradicionales.

Muchos años de investigación en teledetección han allanado el camino para aplicaciones en la gestión de costas, pero aún esta tecnología no está lo suficientemente extendida. En este sentido, y argumentando esta posibilidad, McCarthy et al. (2017) destacan una serie de casos exitosos de uso de teledetección en la gestión costera a partir de casos en los que se aporta conocimiento en torno a arrecifes de coral, humedales, calidad del agua, salud pública, pesca y acuicultura.

Desde la costa marítima de la provincia de Buenos Aires, se presenta como posibilidad el uso de técnicas de teledetección en las siguientes líneas:

- Evolución de la línea de costa.
- Cuantificación de la presión de la infraestructura urbana sobre la costa.
- Elaboración de indicadores de vulnerabilidad costera.

La evolución de la línea de costa es una de las aplicaciones más comunes en el ámbito

costero de imágenes satelitales. Actualmente, existen herramientas como *CoastSat*, consistente en un software que vincula a *Google Earth Engine* (una plataforma en la nube para realizar análisis y visualización de información geoespacial) con las imágenes satelitales Landsat y Sentinel-2 (todo libremente disponible), permitiendo obtener la historia de más de 30 años de evolución costera en distintas playas a partir de una técnica robusta de detección de la interfaz arena/agua con resolución de subpíxeles (Vos et al., 2019).

La determinación de la evolución de la mancha urbana durante las últimas décadas en todas las localidades de la costa de la provincia de Buenos Aires resulta un insumo importante para relacionar urbanización y dinámica costera.

La necesidad de contar con indicadores de vulnerabilidad costera con mayor discretización espacial implica la posibilidad de incorporar técnicas de teledetección a estas determinaciones. Ghaffarian et al. (2018) revisa la utilización de imágenes satelitales en análisis de vulnerabilidad y resiliencia en ciudades, a partir de la utilización de indicadores de urbanización (edificios, transporte, etc.), económicos (macro, economía regional, logística, etc.), sociales (servicios e infraestructura, status socioeconómico, etc.) y naturales.

VEHÍCULOS AÉREOS NO TRIPULADOS (VANT)

Los vehículos aéreos no tripulados (VANT o UAV por sus siglas en inglés), conocidos como drones y ampliamente disponibles y de bajo costo, ofrecen una posibilidad interesante de medir procesos morfológicos en playas (Turner et al., 2016). Con una buena red de puntos de control terrestre local, los VANT permiten capturar una morfología de playa tridimensional con una muy buena resolución. El grado de precisión que se obtenga con estos modelos digitales de elevación (DEM) resulta de un balance controlado por la altitud de vuelo, ya que con valores menores se obtiene mayor resolución, pero a expensas de una menor cobertura espacial.

Las series temporales de DEMs obtenidos con VANTs proporcionan una herramienta valiosa para la gestión costera, permitiendo documentar cambios morfológicos en costas irregulares y/o intervenidas (antes y después de la ocurrencia de temporales), la evolución de la cobertura vegetal, y hasta cuestiones vinculadas a la conservación (Rees et al., 2018). Además, bajo condiciones de filmación estables, los videos obtenidos con VANTs en áreas costeras permiten observar parámetros dinámicos de la zona de rompiente pudiendo caracterizar variables asociadas al oleaje incidente.

Una de las principales ventajas de usar VANTs es el poder trabajar a escalas que otros instrumentos de percepción remota no pueden otorgar. Esto posibilita monitorear con precisión alturas de dunas y anchos de playas, perfiles de playa, retroceso de la línea de acantilados, etc.; todas variables importantes de ser seguidas en un proceso integrado de gestión costera. Por otro lado, otra característica destacable es la relativa facilidad de uso en terreno, aspecto que con una capacitación sencilla puede ser abordado. Este aspecto permite pensar en la costa marítima bonaerense en una estrategia coordinada de observación sistemática y con participación de los municipios.

La utilización de esta estrategia de monitoreo, para una mejor comprensión de la dinámica del problema, resulta más aprovechable si se la puede vincular con los otros tipos de observaciones (por ejemplo, mediciones directas de niveles de marea y oleaje). Además, para obtener un monitoreo de calidad con VANTs se lo debe vincular con registros topográficos directos obtenidos con GPS Diferencial determinando una red local de puntos fijos.

VIDEO MONITOREO

La opción de monitoreo costero utilizando videocámaras permite mejorar la resolución espacial y temporal de las observaciones, además de abarcar un área algo mayor que una observación puntual. Esta alternativa, de bajo costo, posibilita la observación frecuente de cambios morfológicos dinámicos, permitiendo asignarlos a eventos de tormenta y generando la opción de un seguimiento continuo de áreas costeras. Esta opción, surgió en la década de 1980 y se ha venido desarrollando constantemente obteniendo muy buenos resultados y con aplicaciones en todos los continentes (Plant et al., 2007; Abessolo Ondo et al., 2016; Blossier et al., 2017; Chang et al., 2019; entre otros). Tanto para el seguimiento de los procesos de inundación como los de erosión costera en la costa bonaerense, la herramienta de monitoreo por videocámaras resulta una opción altamente viable para mejorar monitoreo.

Entre las experiencias internacionales de mayor desarrollo se destacan la iniciativa “*Eyes on the Coast*” (Ojos en la Costa, implementada por el USGS - Servicio Geológico de Estados Unidos, en donde con videocámaras que apuntan a playas en la costa del oeste de Florida y el centro de California miden las características de las playas y las utilizan para realizar pronósticos) y la iniciativa ARGUS (implementada por Deltares en Países Bajos, donde se cuantifica la evolución de la línea de costa y los anchos de playa, se cuantifica la erosión costera, se realizan topobatimetrías y se cuantifica el *run-up* de la ola).

En la región se reconoce el sistema de monitoreo HORUS en Colombia (Grupo OCEÁNICOS, Universidad Nacional de Colombia) que desde hace más de una década es capaz de cuantificar de forma continua los cambios en diversas zonas costeras colombianas (Osorio et al., 2008). Además, existe la experiencia reciente de un sistema de monitorización y medidas remotas en playas de Uruguay implementado por el IMFIA-UdelaR (Echavarría et al., 2018) (**Figura 5.9**).



Figura 5.9. Sistema HORUS (Colombia) y Sistema IMFIA (Uruguay).

Para la costa marítima bonaerense se recomienda avanzar con esta metodología, aprovechando las facilidades que imponen las infraestructuras cercanas a la costa en muchos de los balnearios de este tramo. Además, resulta importante vincular los resultados que se obtengan de este tipo de monitoreo con información de base obtenida *in situ* (perfiles de playa, velocidades de corriente, oleaje, etc.), con el objetivo de calibrar y validar los algoritmos de procesamiento de las imágenes de las videocámaras.

OBSERVACIÓN CIUDADANA

En un contexto de austeridad, resulta importante habilitar y apoyar la posibilidad de la complementariedad de observaciones con otro tipo de experiencias, entre las cuales se puede destacar la observación ciudadana. La ciencia ciudadana ofrece una vía de aproximación interesante para involucrar a las comunidades en el monitoreo de costas. Al diseñar actividades de monitoreo en el marco de la ciencia ciudadana, los posibles resultados no solo deben centrarse en los datos, sino también en el análisis de los impactos ambientales al mismo tiempo en que se proporcionan experiencias significativas y habilidades de construcción del conocimiento (Dean et al., 2018).

Desde la perspectiva de la gestión costera, resulta importante que se motive y se estructure la metodología de observación ciudadana. Roger et al. (2019) sostienen que la ciencia ciudadana puede alcanzar dos objetivos primarios para un gobierno: **i)** expandir la posibilidad de recolección de información, análisis y curaduría, y **ii)** comprometer y motivar a la comunidad que se involucra.

Son muchos los avances exitosos que se han dado en el marco de la vinculación de la ciencia ciudadana con la investigación y gestión marina. Principalmente se presenta una evolución importante en las iniciativas vinculadas a cuestiones vinculadas a la biodiversidad, aspectos físicos de la dinámica marina (en menor medida), contaminación (plásticos y calidad del agua) y recursos (pesquerías) (Earp y Liconti, 2020). La oportunidad para avanzar desde la provincia de Buenos Aires con el monitoreo comunitario de playas y variables de la dinámica costera resulta inmejorable, ya que esta metodología se encuentra en una fase inicial, y aún con los desafíos que implica su implementación, presenta un enorme potencial en la ampliación de observación constituyéndose en elemento clave para el futuro de la gestión costera bonaerense.

Entre las experiencias replicables en la costa bonaerense se encuentra *CoastSnap* (monitoreo de playas comunitario). *CoastSnap* es un ejemplo internacional de participación ciudadana (se encuentra en Australia, Mozambique, España, Brasil, etc.) y consiste en un sistema de monitoreo de playas a partir de la toma de fotografías desde teléfonos celulares en puntos fijos de distintas playas (Harley et al., 2019). Con las fotografías colectadas en un determinado período de tiempo, mediante un procesamiento de esas imágenes se logra analizar la evolución de la costa. La contribución de imágenes capturadas *in situ* se realiza a través de redes sociales utilizando un etiquetado específico (**Figura 5.10**).

Una experiencia local incipiente es la que ha comenzado a desarrollar el colectivo CCM (Ciencia Comunitaria del Mar) que colecta datos de oleaje en Mar del Plata mediante la



Figura 5.10. *CoastSnap* en las playas de Tallow, Blacksmith y Laguna Narrabeen, Australia.

participación ciudadana. Esta iniciativa cuenta con el apoyo del Departamento de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos (DCAO) de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEyN-UBA) y la Estación de Observaciones Costeras de Mar del Plata (EOC-MdP) del Servicio de Hidrografía Naval (SHN). A partir de observación directa se establecen condiciones de oleaje instantáneo en cualquier lugar de la costa de Mar del Plata completando un formulario al que se accede a través de redes sociales³. Entre los parámetros que se registran se encuentra la altura y el período de ola y la intensidad del viento, entre otros, con valores identificables entre rangos de magnitud.

Otra componente comunitaria del monitoreo es aquella de tipo ocasional y que tiene que ver con situaciones particulares y/o críticas. La información recolectada vía la comunidad puede ser cuantitativa y/o cualitativa, y puede resultar de gran colaboración para la gestión. Algunos ejemplos de este tipo de situaciones son: relevamiento de elementos característicos de las playas, cantidad de gente que la frecuenta en el año y durante la temporada turística, modificaciones abruptas del perfil de playa, frente costero urbanizado, distancia entre la urbanización y la franja de médanos, localización de desagües pluviales, impacto de temporales, etc. Para la recolección de este tipo de información, en general registros fotográficos, deberían facilitarse desde la gestión los medios de acopio y análisis.

5.4 | BASE DE DATOS

Una Base de Datos (BD) es un conjunto de datos almacenados sin redundancias innecesarias en un soporte informático y accesible simultáneamente por distintos usuarios y aplicaciones. Estos datos tienen que estar estructurados y su almacenamiento debe ser independiente de las aplicaciones que lo utilicen. Un Sistema de Gestión de Base de Datos (SGBD) es un software que permite crear, mantener y consultar una BD. En el marco de la gestión costera, una BD permite mantener en un mismo sitio toda la información disponible obtenida por distintos actores para que usuarios con fines diversos puedan utilizar esa información, permitiendo que cualquiera pueda involucrarse en el conocimiento y análisis de las problemáticas costeras.

En el marco de esta Asistencia Técnica se implementó una BD en donde se colectó información relevada por diferentes instituciones y organizaciones, y donde se incorporó la información propia generada en este trabajo. En este caso el SGBD utilizado fue PostgreSQL

³ http://instagram.com/cem_mdp

(sistema relacional y de código abierto), sugiriendo su administración a través del software *pgAdmin* (plataforma de código abierto para la administración y el desarrollo para PostgreSQL). Esta base de datos fue transferida a la Dirección Provincial de Hidráulica (DPH) y contempla datos según las siguientes características:

- Arroyos y ríos
- Partidos Costeros
- Balnearios
- Sitios relevantes
- Batimetrías
- Infraestructura (espigones, muelles, puertos, rompeolas, emisarios, protecciones)
- Defensa costera (espigones, escolleras, rompeolas, muelles, protecciones, *sea-walls*)
- Puntos fijos topográficos
- Estaciones de medición
- Perfiles de costa
- Muestreo de sedimentos
- Resultados de modelación numérica

Las BD son dinámicas, por lo que se requiere un habitual mantenimiento y enriquecimiento de información. Para ello, se la debe alimentar regularmente con nuevos datos que surjan de equipos de medición fijos, campañas de monitoreo o resultados de modelaciones numéricas.

Para avanzar hacia un manejo costero integrado en la provincia de Buenos Aires, se requiere que esta BD iniciada en el marco de esta Asistencia Técnica, crezca en cantidad de datos y cantidad de usuarios, fortaleciendo a esta herramienta necesaria desde el punto de vista de la gestión.

🕒 5.5 | OTRAS HERRAMIENTAS

Existen muchas otras herramientas valiosas para aportar a un manejo costero integrado, algunas de ellas fueron abordadas por esta Asistencia Técnica y otras no, dado el alcance de este trabajo. Entre ellas se destacan dos: la capacitación de los actores involucrados y los avances que se puedan realizar en materia legislativa.

Una de las herramientas que fue trabajada desde este proyecto consistió en la capacitación. Para una mejor toma de decisiones, donde el conocimiento es uno de los pilares fundamentales, la transmisión de las experiencias en donde se lo genera implica una apertura hacia los múltiples actores que intervienen en gestión costera.

De aquí surge la importancia de hacer foco en capacitar tanto a los tomadores de decisiones, como a los propios usuarios de la costa. De esta forma se garantiza un uso más eficiente de los recursos disponibles, se fomenta la participación ciudadana en el cuidado de las costas y se evita incurrir en soluciones no óptimas por presión social. Por otro lado, la variedad de actores costeros (distintos tipos de organizaciones e instituciones que están

directamente involucradas con la costa de la provincia de Buenos Aires), pero no todas manejan la misma información. Desde este trabajo se sugiere trabajar todos los aspectos de capacitación en colaboración con instituciones educativas costeras, como la exitosa experiencia desarrollada en el marco de este proyecto junto con la Universidad Nacional de Mar del Plata (UNMdP).

No fue motivo de la Asistencia Técnica, pero se destaca que la estructura de normativas y legislación asociada a la costa bonaerense puede ser apoyada por las herramientas anteriormente explicitadas. Por este motivo se destaca la posibilidad de reactivar todas aquellas iniciativas que aborden la cuestión de la problemática costera, como la creación de la Unidad de Coordinación de Manejo Costero Integrado, formalizada en la provincia de Buenos Aires por Decreto Provincial N° 1802/08.

Desde esa iniciativa es que se desarrolló el anteproyecto de Ley de Costa Marítima, en donde se propone el marco regulatorio que permitiría instrumentar un manejo integrado en el litoral marino bonaerense. Por lo tanto, se sugiere avanzar con la evaluación de la factibilidad y la reflexión sobre los criterios y contenidos de una ley de este tipo que funcione como un marco legal ordenador y promotor de una política de Estado sobre la problemática costera.



06.
SÍNTESIS

SÍNTESIS

La Asistencia Técnica ‘Technologies for the design and adaptation to climate change of a Regional Strategic Plan for the Coastal Management of the Province of Buenos Aires’ (Tecnologías para el diseño y adaptación al cambio climático de un Plan Estratégico Regional de Manejo Costero en la Provincia de Buenos Aires) contempló el estudio del litoral marítimo bonaerense, abarcando una extensión de costa de más de 600 km entre las localidades de San Clemente del Tuyú y Pehuen C6. En 6sta se propuso diagnosticar el estado actual de la din6mica litoral, implementar un mapa de riesgo frente al Cambio Clim6tico y delinear sugerencias de manejo costero, para ser utilizado como insumo en la ejecuci6n de un futuro plan de manejo integrado. Estos objetivos se cumplieron a partir de la elaboraci6n de una serie de productos, entre los que se destacan el an6lisis retrospectivo de variables de la din6mica costera, la implementaci6n de una base de datos de la informaci6n generada y colectada, la implementaci6n de modelos num6ricos regionales y locales, y la generaci6n de un atlas de riesgo costero. Estos productos han sido transferidos a la Direcci6n Provincial de Hidr6ulica, y la mayoría de ellos se encuentra libremente disponibles.

El an6lisis retrospectivo (*hindcast*) de variables de la din6mica de la costa marítima bonaerense, con series de m6s de treinta a6os de longitud de las variables viento, niveles y oleaje, permiti6 una caracterizaci6n regional e integral del clima marítimo de la costa bonaerense y el impacto del cambio clim6tico sobre el mismo. Este an6lisis fue realizado a partir de la elaboraci6n del producto Boyas Virtuales, un conjunto de puntos ficticios en dos alineamientos diferentes (13 a 55 km de la costa separadas unos 10 km entre sÍ y 12 a 35 km de la costa con una separaci6n de unos 50 km), consistente en series de las variables referidas a viento, niveles y oleaje.

La costa marítima bonaerense presenta una distribuci6n variable de perfiles de playa en la que se alternan zonas de acantilados y 6reas medianosas, lo cual se encuentra asociado, en t6rminos generales, con las característicasy del clima de olas. El problema de la erosi6n costera en los distintos sectores costeros presenta ciertas particularidades, pero las principales causas de la erosi6n est6n asociadas a la din6mica costera: **i)** la interacci6n del transporte litoral de sedimentos con diversas obras de infraestructura y estructuras de defensa costera, **ii)** el accionar de los temporales (sudestadas) que impactan erosionando los perfiles de playa, y **iii)** la erosi6n de largo plazo que hace retroceder la lÍnea de costa como consecuencia de la elevaci6n del nivel medio del mar y la readecuaci6n de los perfiles de equilibrio de playa.

El transporte litoral de los sedimentos fue caracterizado a partir de la modelaci6n num6rica, considerando la acci6n de las olas propagadas hasta las zonas costeras y de la variaci6n de los niveles de la marea, del di6metro del sedimento y de la orientaci6n de la playa en relaci6n a la direcci6n del oleaje. Independientemente de los vol6menes transportados, en este tramo costero se observ6 que pr6cticamente la totalidad del transporte ocurre en

los primeros 400 metros desde la costa. En general, el transporte neto resulta en sentido sudoeste-noreste, con la excepción del tramo comprendido entre los partidos de Tres Arroyos y Coronel Rosales, donde se presenta una tasa en sentido contrario. El análisis de los resultados en escala regional muestran que el sector Central ofrece las tasas de transporte potencial más elevadas, con valores cercanos a volúmenes netos medios anuales de 1.000.000 m³ en las zonas de Mar del Plata y Necochea. Estos valores disminuyen, hacia ambos extremos, mostrando tanto en la región del Partido de La Costa como en Monte Hermoso/Pehuen C  volúmenes que pueden variar localmente entre 250.000 m³ y 750.000 m³, según el caso.

Los eventos de tormenta caracterizados por la sobreelevación del nivel del mar y alturas elevadas del oleaje, generan impactos que se cuantifican con la cota máxima de inundación y la erosión sobre el perfil de playa. El análisis del conjunto de estas variables evidencia el incremento de los volúmenes erosionados al considerar duraciones mayores para eventos más severos. Los volúmenes de erosión más elevados se encuentran en el sector Sudoeste, con valores en el entorno de Necochea que pueden superar los 90 m³/m para las condiciones más severas. Salvo algunas excepciones puntuales, las estimaciones entre el Partido de La Costa y General Pueyrredón muestran valores significativamente inferiores.

La erosión de largo plazo y producto de la elevación del nivel medio del mar, también resultó considerada. Las proyecciones regionales de oleaje y marea meteorológica presentan variaciones muy bajas en estas variables, resultando en cambios no significativos aún para el escenario más severo. Las proyecciones globales de aumento de nivel medio del mar en esta zona sí son significativas, con valores del orden de 20 cm para mediados del siglo XXI y en el rango 30-100 cm para finales del mismo. Estas proyecciones imponen claras diferencias entre los niveles de retroceso correspondiente a cada horizonte temporal y remarcan importantes variaciones espaciales en los retrocesos estimados. Promediando el retroceso de la línea de costa bonaerense, según los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5, se indican para el horizonte 2045 valores de 17,8 m y 19,6 m, y para el 2100 retrocesos de 47,4 m y 69,7 m, respectivamente.

En la provincia de Buenos Aires la erosión costera se da a lo largo de todo su frente marítimo, observándose mayor impacto en la zona de Mar del Plata y en el Partido de La Costa. Esta situación erosiva relativamente homogénea, resulta atribuible fundamentalmente al incremento del nivel medio del mar y a efectos localizados producidos por el avance de las urbanizaciones. Particularmente, entre los principales factores observados en esta franja costera que pueden ser asociados al problema erosivo, considerado como una alteración en el equilibrio natural del sistema, se destacan las obras de defensa costera (de desarrollo transversal o longitudinal), los puertos (Puerto Mar del Plata y Puerto Quequén), los efectos de la urbanización (construcciones que degradan los sistemas dunares), la propia dinámica litoral (impactos generados por la acción de temporales), el cambio climático (erosión estructural por efecto de la elevación del nivel medio del mar) y los cambios en la hidrología y en los usos del suelo de las cuencas litorales.

En el marco de las acciones orientadas a una gestión integrada, y dado el problema concreto de la erosión costera, el abordaje para su mitigación requiere una adecuada pla-

nificación que contemple las siguientes cuatro posibles estrategias: **i)** no intervención, **ii)** retirada, **iii)** prevención/corrección, y/o **iv)** protección y defensa. Para determinar las acciones a seguir, debe considerarse que la mejor protección contra la erosión costera y las inundaciones es la preservación de una franja amplia de playa protegida por una duna frontal que favorezca el equilibrio sedimentológico del tramo. Los tipos de intervención, cuando las estrategias de no acción, retirada y prevención/corrección resultan inviables, deben contemplar la posibilidad de obras de defensa. Una correcta planificación de las mismas debe plantear claramente el objetivo primario de la obra, considerar todos los procesos físicos intervinientes, y prever los impactos adversos a lo largo de la costa adyacente. Este tipo de actuaciones sobre la costa pueden distinguirse entre obras blandas (regeneración de playas, normalización de la dinámica litoral y/o reparación de zonas dunares) y obras duras (defensas longitudinales, espigones transversales y/o diques exentos).

La complejidad de la dinámica litoral, los impactos de las intervenciones costeras, y la necesidad de una planificación adecuada, demandan un plan de Manejo Costero Integrado (MCI) para la costa bonaerense. Este proceso debe integrar a los diferentes actores e intereses de acuerdo a una gestión sostenible de los recursos y ambientes costeros, articulando una mirada estratégica sobre este sector costero. La mitigación de la erosión costera requiere abordajes sostenibles e integradores con un enfoque participativo y socialmente inclusivo. La generación de datos, el análisis y el diagnóstico de la dinámica litoral resultan fundamentales para comprender y predecir impactos sobre el sistema costero, aportando herramientas esenciales a una gestión integrada. Una mirada integral de la gestión costera bonaerense requiere de una convocatoria amplia, que permita descentralizar las acciones, fortalecer la institucionalidad en la costa y formar recursos humanos locales, todo en el marco de una clara determinación de roles y responsabilidades tanto a escala provincial como municipal, considerando interacciones.

Las herramientas disponibles para la gestión costera son variadas tanto en forma como en recursos necesarios, y en cantidad y calidad de la prestación. Para contribuir a una gestión integral del recurso costero, se destacan las siguientes: la modelación numérica, el atlas de riesgo costero, el monitoreo continuo y la utilización de bases de datos.

La modelación numérica permite apoyar la toma de decisiones en la gestión costera desde respuestas cuantitativas. En este trabajo, se implementaron modelos numéricos de diferentes escalas espaciales (regionales y locales) que resuelven diferentes procesos físicos (modelos hidrodinámicos, modelos de oleaje, modelos sedimentológicos y morfológicos). Este desarrollo permitió abarcar desde la mirada regional a la local: **i)** modelo regional del frente costero marítimo de Buenos Aires, **ii)** modelos locales (Necochea-Quequén, Mar del Plata y Las Toninas), y **iii)** modelo litoral marítimo / línea de costa (transporte de sedimentos). En el caso de los modelos locales se evaluaron los impactos de distintas intervenciones costeras: **a)** sistema de *by-pass* de arena en Puerto Quequén, **b)** trampas de sedimentos en Puerto Mar del Plata, y **c)** espigones paralelos a la costa en Las Toninas. Las posibilidades de modelación de la costa bonaerense no se deben acotar a estos modelos ya implementados, sino que se sugiere explorar otras herramientas en las que se contemple la libre disponibilidad del software.

El Atlas de Riesgo Costero fue pensado como insumo necesario para avanzar hacia un manejo costero integrado de esta región. Para su obtención, se utilizaron resultados de la modelación numérica y una serie de herramientas de cálculo simplificadas orientadas a la gestión. Este producto consiste en una serie de mapas que permiten evaluar el impacto de temporales con diferente grado de severidad sobre la costa, tanto para las condiciones actuales del clima como para escenarios futuros que proyectan diferentes incrementos en el nivel medio del mar. El índice de riesgo obtenido a partir de indicadores de peligrosidad y de vulnerabilidad, se ofrece para distintos períodos de retorno, tanto para el presente como para el escenario futuro más crítico en los horizontes 2045 y 2100. Para el presente, la distribución del riesgo a lo largo de la franja costera analizada muestra el predominio de niveles bajo/muy bajo que se incrementan levemente con el aumento del período de retorno considerado. Hacia el futuro, en la zona del Partido de La Costa se presenta un incremento del riesgo hasta una caracterización de alto, dependiendo del período de retorno considerado.

El monitoreo continuo de variables de la dinámica costera permite una mejor comprensión del sistema y colabora para una toma de decisiones con mayor sustento. Entre las variables que requieren sistematicidad en su seguimiento se encuentran las referidas a la dinámica de niveles de mareas y oleaje, la batimetría, los perfiles de playa y los sedimentos. En este marco, debería considerarse la tradicional instrumentación in situ para incrementar mediciones continuas o esporádicas, sin dejar de lado otras alternativas de observación: imágenes satelitales, Vehículos Aéreos No Tripulados (VANTs), video monitoreo y observación ciudadana. Además, se debería completar la caracterización de los sedimentos y sistematizar la información de impactos de la erosión. Para sumar esfuerzos en la tarea de monitoreo se sugieren algunas acciones que involucran a otros actores de la gestión integrada: **i)** sumar a los consorcios portuarios en el monitoreo, no solo en sectores costeros vinculados a la operatoria de los puertos, **ii)** coordinar con municipios el seguimiento sistemático de playas (por ejemplo, utilizando VANTs), **iii)** alentar la participación ciudadana en la observación de la dinámica costera.

Toda la información generada y recolectada durante esta Asistencia Técnica fue resguardada en una Base de Datos. Esta estructuración favorece la consulta desde los distintos actores de la gestión costera. Las Bases de Datos son dinámicas, por lo que para la gestión bonaerense se requerirá de un habitual mantenimiento y enriquecimiento de información contemplando nuevos datos que surjan de equipos de medición fijos, campañas de monitoreo o resultados de modelaciones numéricas.



REFERENCIAS

INFORMES DE LA ASISTENCIA TÉCNICA

INA-UdelaR, 2018. *Revisión y análisis del estado del arte de estudios y planes de manejo realizados en diferentes áreas costeras en el marco de la evaluación del riesgo costero.* Informe LHA 01-376-18; LHA, LHA - IMFIA, UdelaR, Informe 2.1, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, diciembre.

INA-UdelaR, 2019a. *Herramientas tecnológicas disponibles vinculadas a la problemática costera de la provincia de Buenos Aires.* Informe LHA 02-376-19; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 2.2, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, febrero.

INA-UdelaR, 2019b. *Herramientas de modelación para la gestión costera de la provincia de Buenos Aires.* Informe LHA 03-376-19; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 2.3, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, febrero.

INA-UdelaR, 2019c. *Desarrollo de una base de datos estructurada para la costa de la provincia de Buenos Aires.* Informe LHA 04-376-19; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 3.1, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, abril.

INA-UdelaR, 2019d. *Taller de Validación.* Informe LHA 05-376-19; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 3.2, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, junio.

INA-UdelaR, 2019e. *Análisis histórico de las variables de la dinámica costera.* Informe LHA 06-376-19; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 4.1, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, diciembre.

INA-UdelaR, 2020a. *Proyecciones de cambio del oleaje, la marea meteorológica y el nivel medio del mar en la costa Atlántica de la provincia de Buenos Aires.* Informe LHA 07-376-20; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 4.2, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, enero.

INA-UdelaR, 2020b. *Análisis de alta resolución de impactos y riesgo en zonas piloto de la costa marítima de la provincia de Buenos Aires.* Informe LHA 08-376-20; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 4.3, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, enero.

INA-UdelaR, 2020c. *Metodologías y criterios aplicados.* Informe LHA 09-376-20; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 4.4, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, enero.

INA-UdelaR, 2020d. *Atlas de riesgo e impacto del cambio climático sobre la costa marítima de la pro-*

vincia de Buenos Aires. Informe LHA 10-376-20; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 5.1, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, abril.

INA-UdelaR, 2020e. *Material generado para las actividades de capacitación.* Informe LHA 12-376-20; LHA, INA - IMFIA, UdelaR, Informe 5.3, Asistencia Técnica UNIDO/CTCN Rfx 7000002437, enero.

OTRAS REFERENCIAS

Abessolo Ondoa, G., Almar, R., Kestenare, E., Bahini, A., Houngue, G-H. et al., 2016. *Potential of video cameras in assessing event and seasonal coastline behaviour: a case study at Grand Popo, Benin (Gulf of Guinea).* In: Vila-Concejo, A.; Bruce, E.; Kennedy, D.M., and McCarroll, R.J. (eds.), Proceedings of the 14th International Coastal Symposium (Sydney, Australia). Journal of Coastal Research, Special Issue, No.75, pp. 442–446. Coconut Creek (Florida), ISSN 0749-0208.

Blossier, B., Bryan, K.R., Daly, C.J. et al., 2017. *Spatial and temporal scales of shoreline morphodynamics derived from video camera observations for the island of Sylt, German Wadden Sea.* Geo-Mar Lett 37, 111–123.

Boscarol, N., Fulquet, G., Preliasco, S., 2016. *Aportes para una estrategia federal en Manejo Costero Integrado. Estado de la gestión costera en el litoral Atlántico Argentino.* MAyDS, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sustentable. ISBN 978-987-46523-0-0, 1a ed., 239 pp.

Boswood, P.K., Murray, R.J., 2001. *World-wide Sand Bypassing Systems: Data Report.* Queensland, Australia, 60 pp.

Bruun, P. M., 1962. *Sea level rise as a cause of shore erosion, Am. Soc. Civil Engineers Proc., Jour. Waterways and Harbors Div.* 88, 117–130.

CERC, 1984. *Shore Protection Manual.* Coastal Engineering Research Center, US Army Corps of Engineers, Washington DC, Vol. I, 597, Vol. II, 603.

Chang, Y.S., Jin, J.-Y., Jeong, W.M., Kim, C.H., Do, J.D., 2019. *Video Monitoring of Shoreline Positions in Hujeong Beach, Korea.* Appl. Sci., 9, 4984.

CUR, 1987. *Manual on artificial beach nourishment.* Center of Civil Engineering Research, Codes and Specifications (report 130).

Dadon, J., 2009. *Manejo Costero en la República Argentina. En: “Manejo Costero Integrado y Política Pública en Iberoamérica: Un Diagnóstico. Necesidad de cambio”, pp. 233-260.* Red IBERMAR (CYTED), Cádiz.

de la Peña Olivas, J.M., 2007. *Guía técnica de estudios litorales: manual de costas.* Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.

Dean, R.G., 1992. *Beach nourishment: preliminary design methodology.* Curso corto de costas de Santander.

Dean, A.J., Church, E.K., Loder, J., Fielding, K.S., Wilson, K.A., 2018. *How do marine and coastal citizen science experiences foster environmental engagement?* J Environ Manage, 213:409-416. DOI: 10.1016/j.jenvman.2018.02.080.

Earp H.S., Liconti A., 2020. *Science for the Future: The Use of Citizen Science in Marine Research and Conservation.* In: Jungblut S., Liebich V., Bode-Dalby M. (eds) YOUMARES 9 - The Oceans: Our Research, Our Future. Springer, Cham.

Echavarría, G., Teixeira, M., Pedragosa, M., Lambert, M., Solari, S. y Pedocchi, F., 2018. *Sistemas de monitorización y medidas remotas en playas: avances en Uruguay.* XXVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Buenos Aires, Argentina, septiembre.

Fiore, M.E., D’Onofrio, E.E., Grismeyer, W.H., Mediavilla, D.G., 2008. *El ascenso del nivel del mar en la costa de la provincia de Buenos Aires.* Ciencia Hoy, 18 (106), agosto-septiembre.

Ghaffarian, S., Kerle, N., Filatova, T., 2018. *Remote Sensing-Based Proxies for Urban Disaster Risk Management and Resilience: A Review*. *Remote Sens.*, 10, 1760.

Giardino, A., van Rijn, L., Quataert, E., Warren, A., Jeuken, A., Nederhoff, K., Desramaut, N., 2017. *SimpleCoast: Simple Assessments of Coastal Problems and Solutions*. Proceedings of the Medcoast 17 Conference, 137-148, Malta.

Harley, M.D., Kinsela, M.A., Sánchez-García, E., Vos, K., 2019. *Shoreline change mapping using crowd-sourced smartphone images*. *Coastal Engineering*, 150, 175-189, DOI: 10.1016/j.coastleng.2019.04.003

Horikawa K., 1988. *Nearshore dynamics and coastal processes*. Univ. of Tokyo Press, Japan, pp 40-88.

Huck, G., 2017. *Caracterización y transporte del material particulado suspendido en el estuario del río Quequén Grande (Buenos Aires, Argentina)*. Trabajo Final, Licenciatura en Tecnología Ambiental, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

IH-Cantabria, 2019. *Proyecciones de Cambio Climático: oleaje, residuo del nivel del mar y nivel medio del mar en Uruguay. Desarrollo de herramientas tecnológicas para evaluar los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al Cambio Climático en la zona costera de Uruguay*. Entregable 3.2 (Informe D3.2).

Isla, F., Lasta, C. (Eds.), 2006. *Manual de manejo costero para la Provincia de Buenos Aires*. EUDEM/UNMDP, Mar del Plata. ISBN: 9789875441828, 281 pp.

Isla F.I., Bértola, G., Farenga, M., Cortizo, L., 2001a. *Morfodinámica y balance sedimentario de las playas del Partido de Pinamar (1995-1999), Provincia de Buenos Aires*. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 56:150-160.

Isla, F.I., Bértola, G.R., Farenga, M.O., Cortizo, L.C., 2001b. *Variaciones Antropogénicas de las playas del Sudeste de Buenos Aires, Argentina*. *Revista de Geociencias del Instituto de Geociencias* 28:27-35.

Isla, F.I., Cortizo, L., Merlotto, A., Bértola, G., Pontrelli Albisetti, M., Finocchietti, C., 2018. *Erosion in Buenos Aires province: Coastal-management policy revisited*. *Ocean & Coastal Management*, 156, 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.09.008>

IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.

Luteijn, J., 2013. *Study on sedimentation and effects of mitigating measures at Port of Mar del Plata, Argentina*. M. Sc. Thesis Final Report, 163 pp.

McCarthy, M.J., Colna, K.E., El-Mezayen, M.M., Laureano-Rosario, A.E., Méndez-Lázaro, P., Otis, D.B., Toro-Farmer, G., Vega-Rodriguez, M., Muller-Karger, F.E., 2017. *Satellite Remote Sensing for Coastal Management: A Review of Successful Applications*. *Environmental Management*, DOI: 10.1007/s00267-017-0880-x

Morim, J., Hemer, M., Wang, X.L. et al., 2019. *Robustness and uncertainties in global multivariate wind-wave climate projections*. *Nature Climate Change*, 9, 711–718. DOI: 10.1038/s41558-019-0542-5.

Natenzon, C.E. y Seattone Passe, J., 2015. *Vulnerabilidad social, Amenaza y Riesgo frente al Cambio Climático*. Tercera Comunicación Nacional de la República Argentina a la Convención Marco de La Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Osorio, A.F., Pérez, J.C., Ortiz Alarcón, C.A., Medina, R., 2008. *Horus: sistema de vídeo para cuantificar variables ambientales en zonas costeras*. XXIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Cartagena de Indias, Colombia.

Plant, N.G., Aarninkhof, S.G.J., Turner, I.L., Kingston, K.S., 2007. *The Performance of Shoreline Detection Models Applied to Video Imagery*. *Journal of Coastal Research*, 23 (3 (233)), 658–670.

- Rees, A.F., Avens, L., Ballorain, K., Bevan, E. et al., 2018.** *The potential of unmanned aerial systems for sea turtle research and conservation: a review and future directions.* *Endang Species Res* 35:81-100. DOI: 10.3354/esr00877
- Reyes-Cabañas, P.E., 2016.** *Dimensionamiento de un sistema de bypass de arena en el puerto de Sisal, Yucatán.* Tesis de Maestría, Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- Roelvink, D., Reniers, A., Van Dongeren, A., Van Thiel De Vries, J., McCall, R., Lescinski, J., 2009.** Modelling storm impacts on beaches, dunes and barrier islands. *Coastal Engineering*, 56 (11-12), 1133–1152.
- Roger, E., Turak, E. and Tegart, P., 2019.** *Adopting Citizen Science as a Tool to Enhance Monitoring for an Environment Agency.* *Citizen Science: Theory and Practice*, 4(1), p.35. DOI: 10.5334/cstp.231
- Silva Casarín, R., Villatoro Lacouture, M., Ramos Durón, F., Pedroza Paez, D., Ortiz Pérez, M., Mendoza Baldwin, E., Delgadillo Calzadilla, M., Escudero Castillo, M., Félix Delgado, A., Cid Salinas, A., 2014.** *Caracterización de la zona costera y planeamiento de elementos técnicos para la elaboración de criterios de regulación y manejo sustentable.* Instituto de Ingeniería, UNAM, México. ISBN: 978-607-02-6287-6, 125 pp.
- Sciarrone, R., Meléndez, R., Loschacoff, S., 2012.** *Rompeolas aislados como estructuras de protección costera, recuperación de playas.* VII Congreso argentino de Ingeniería Portuaria – AADIP, 2012.
- Slattery, M., Phillips, J., 2009.** *Controls on sediment delivery in coastal plain rivers.* *Journal of Environmental Management*, 92(2), pp. 284-289.
- Turner, I.L., Harley, M.D., Drummond, C.D., 2016.** *UAVs for coastal surveying.* *Coastal Engineering*, 114, 19-24.
- Verón, M., Bértola G., 2014.** *Aplicación del método de flujo de energía en el litoral de la provincia de Buenos Aires, Argentina.* *Latin American Journal of Sedimentology and Basin Analysis* 21(1):17-23.
- 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 & Software*, 122, 104528.



The Climate Technology Centre and Network (CTCN) fosters technology transfer and deployment at the request of developing countries through three core services: technical assistance, capacity building and scaling up international collaboration.

The Centre is the operational arm of the UNFCCC Technology Mechanism, it is hosted and managed by the United Nations Environment and the United Nations Industrial Development Organization (UNIDO), and supported by more than 500 network partners around the world.



**CTCN - Climate Technology
Centre and Network**

UN City, Marmorvej 51
DK-2100 Copenhagen, Denmark
+45 4533 5372

ctcn@un.org

<https://www.ctc-n.org>



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



 **INA Sede Ezeiza**
Au. Ezeiza - Cañuelas
Tramo Jorge Newbery km. 1,620
Ezeiza , Buenos Aires,
Argentina

 +54 11 4480 4500 - Int. N° 2345

 phc-lh@ina.gov.ar

 www.ina.gov.ar

 **IMFIA**
Julio Herrera y Reissig 565
C.P. 11.300 Montevideo,
Uruguay

 (+ 598) 2714 2714 - int. 20200

 contacto_imfia@fing.edu.uy

 www.fing.edu.uy/imfia/