

NAP Costas
Taller de capacitación I

CONCEPTOS GENERALES

Dr. Ing. Mónica Fossati

Dr. Ing. Sebastián Solari

8 de diciembre de 2020



UNIVERSIDAD
DE LA REPÚBLICA
URUGUAY



Contenido:

- Introducción
- Información generada
- Uso de la información generada
- Pasos futuros



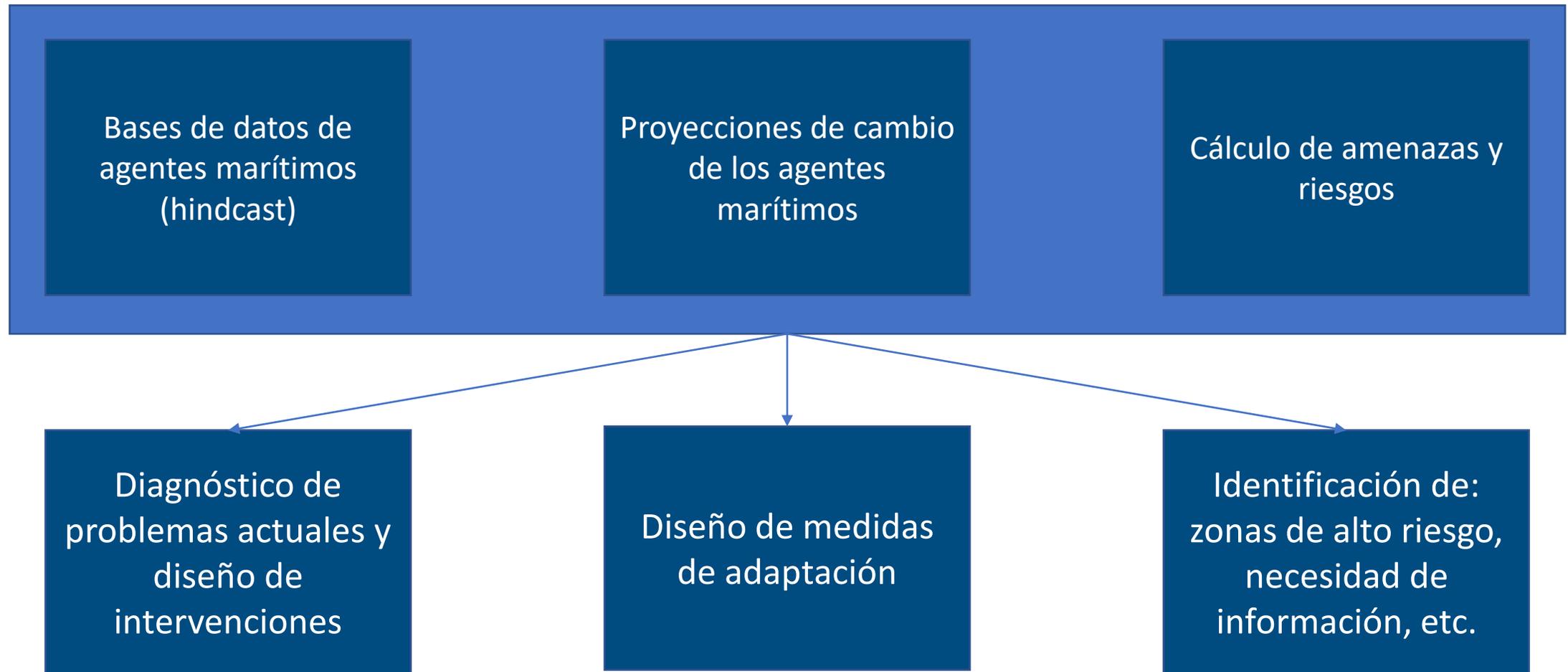
¿Qué se hizo?

Bases de datos de
agentes marítimos
(hindcast)

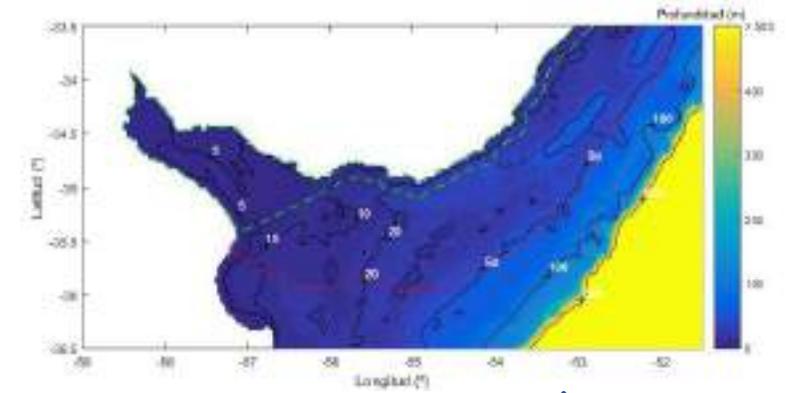
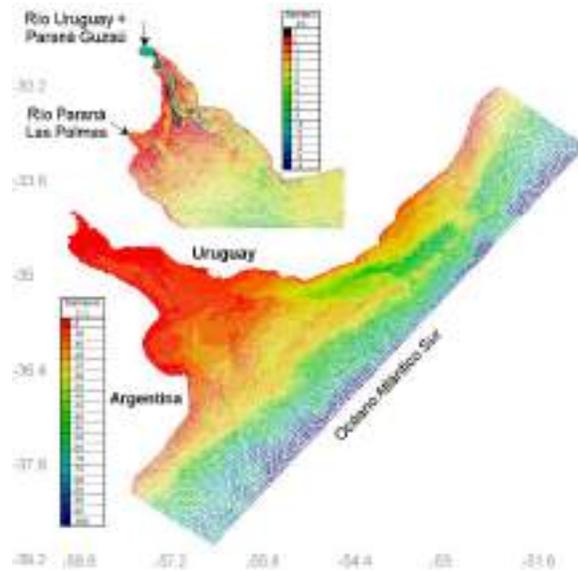
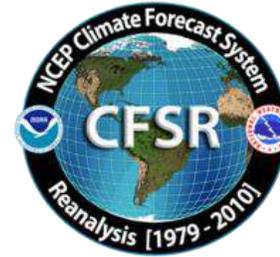
Proyecciones de cambio
de los agentes
marítimos

Cálculo de amenazas y
riesgos

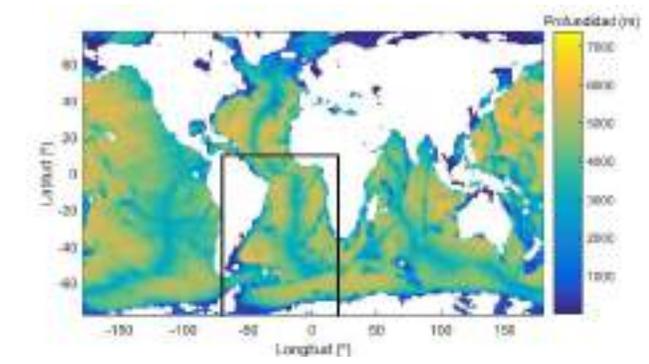
¿Cómo se pueden usar estos resultados?



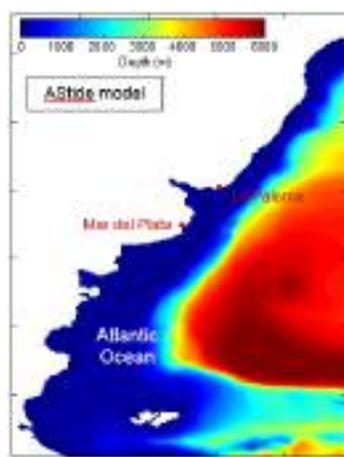
Metodología



Modelo de Oleaje

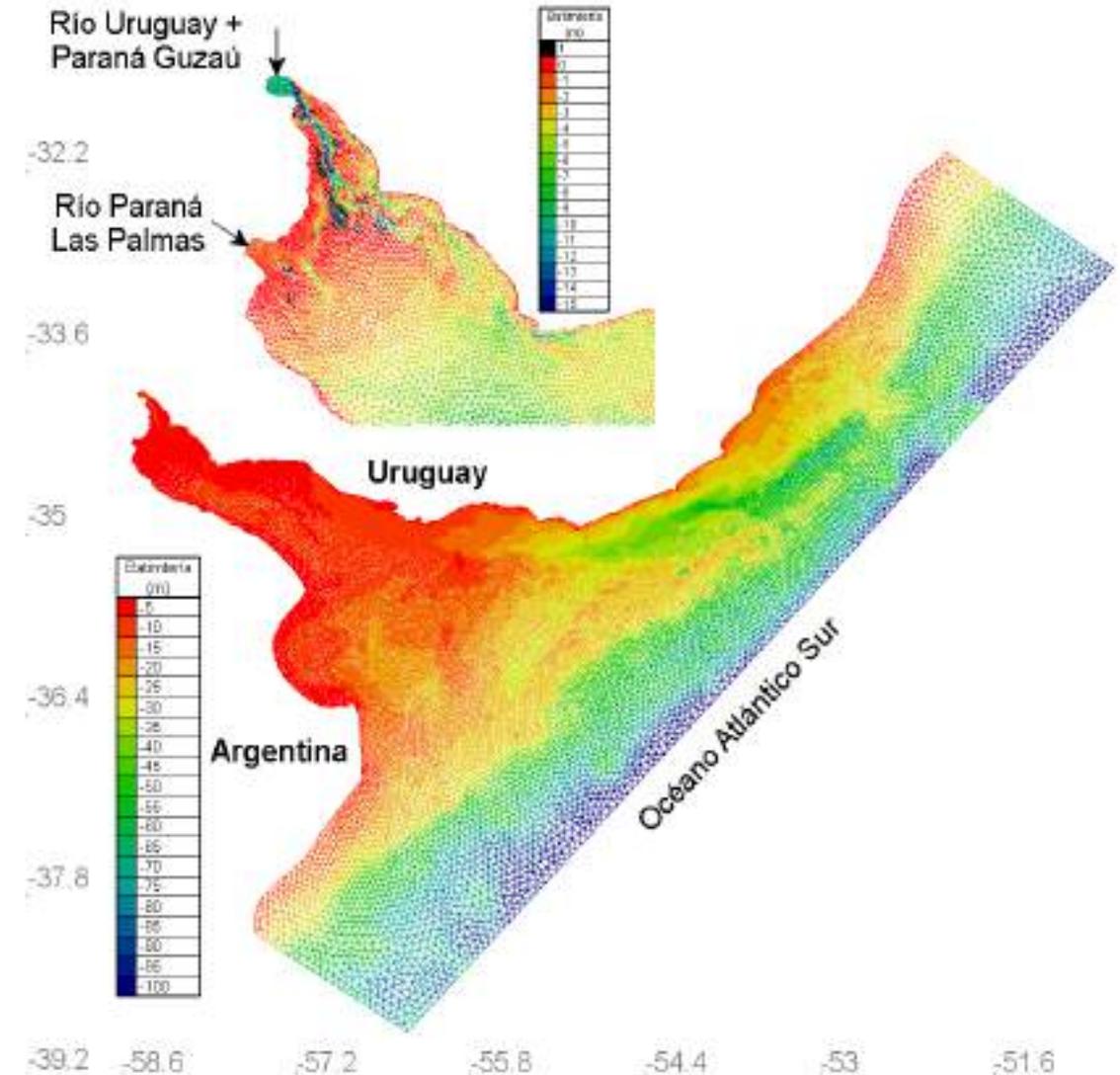


Modelo Hidrodinámico (Niveles y corrientes)



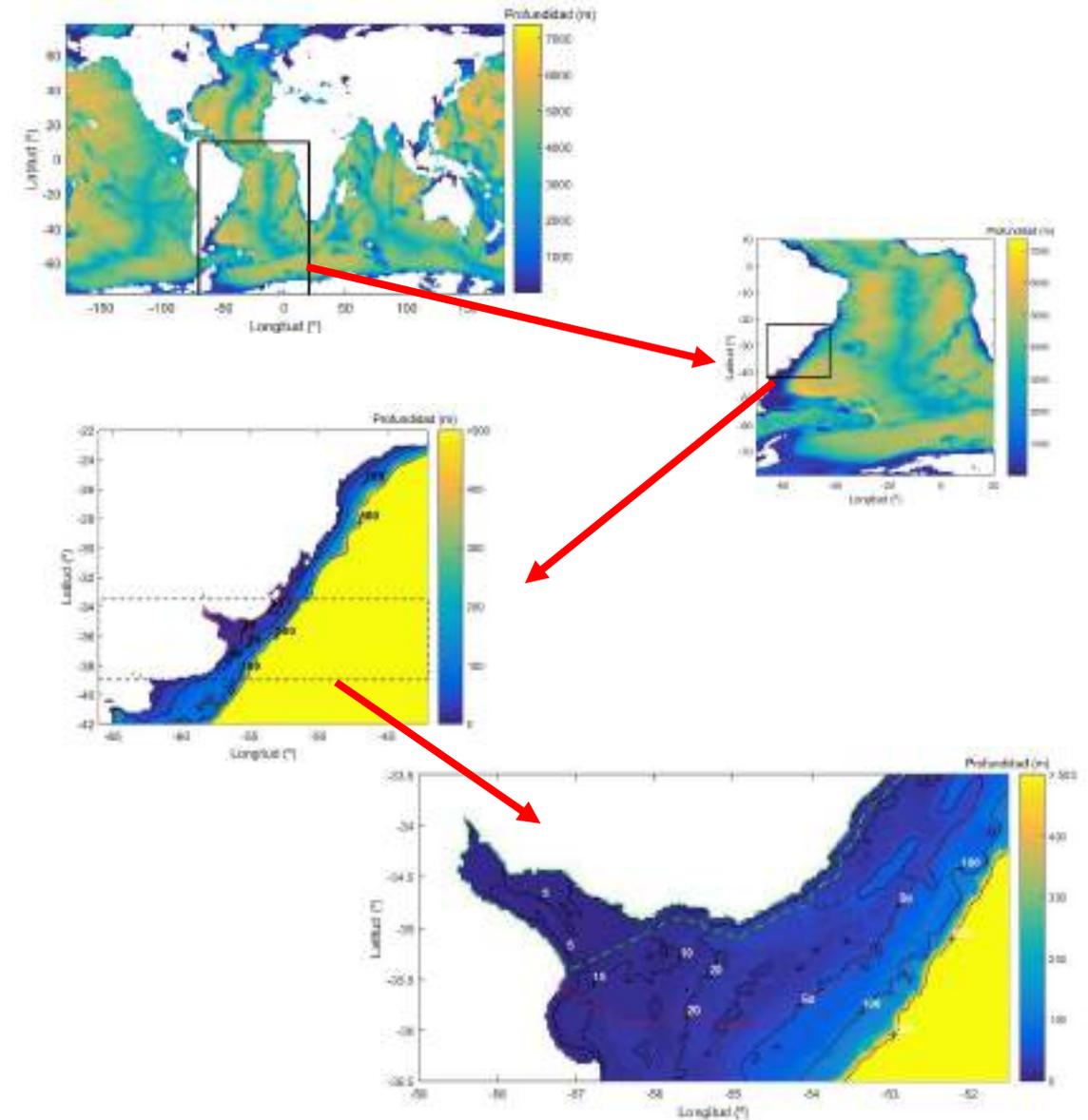
Nivel de mar y corrientes

- Se implementó, calibró y validó el modelo Telemac-2D en el Río de la Plata y la plataforma continental
- Calibrado con datos de niveles en Colonia, Montevideo y La Paloma. Validado con datos de niveles en Pilote Norden, Juan Lacaze y Punta del Este
- Malla de 7km de lado en el océano y 1km de lado en la costa
- Modelo forzado por vientos CFSR+CFSv2
- Periodo 1985-2016



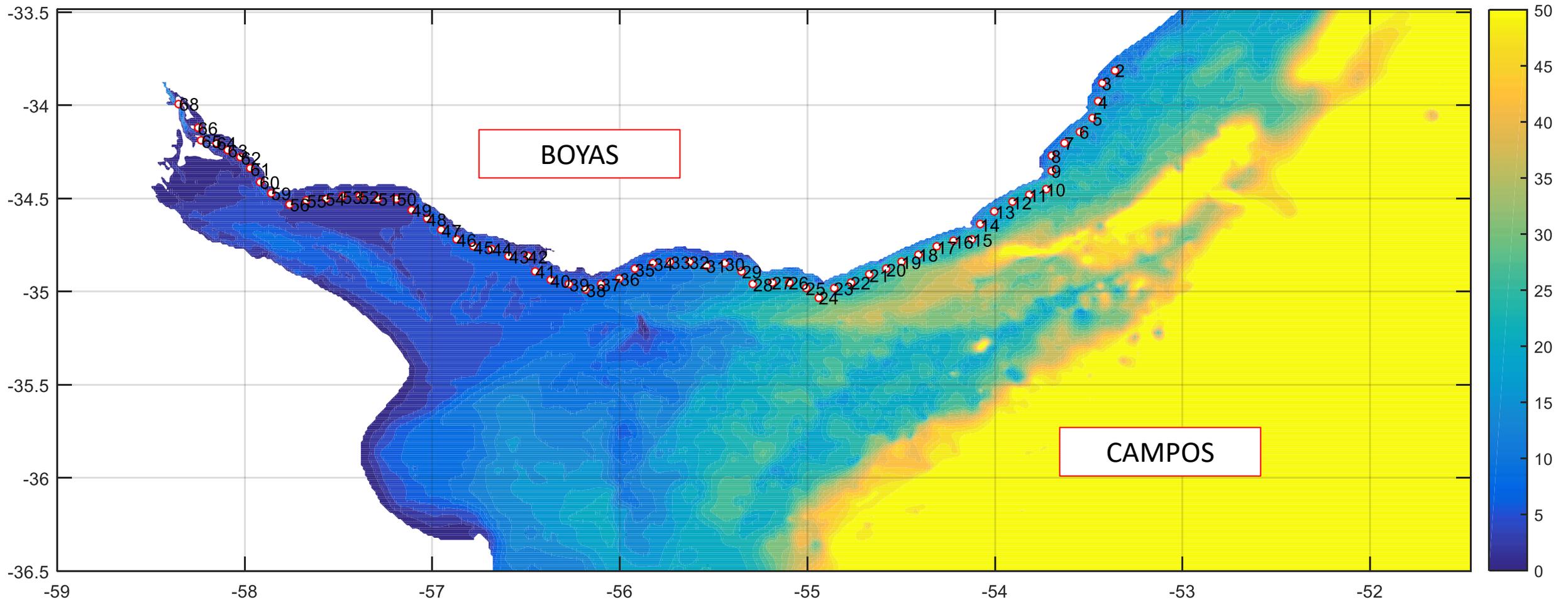
Oleaje

- Modelación anidada desde escala global hasta local
- Forzado con vientos CFSR+CFSv2
- Incluye niveles y corrientes obtenidas previamente en mallas locales
- Calibrado con datos altimétricos (satelitales) y validado con datos altimétricos y medidos in situ
- Periodo 1985-2016

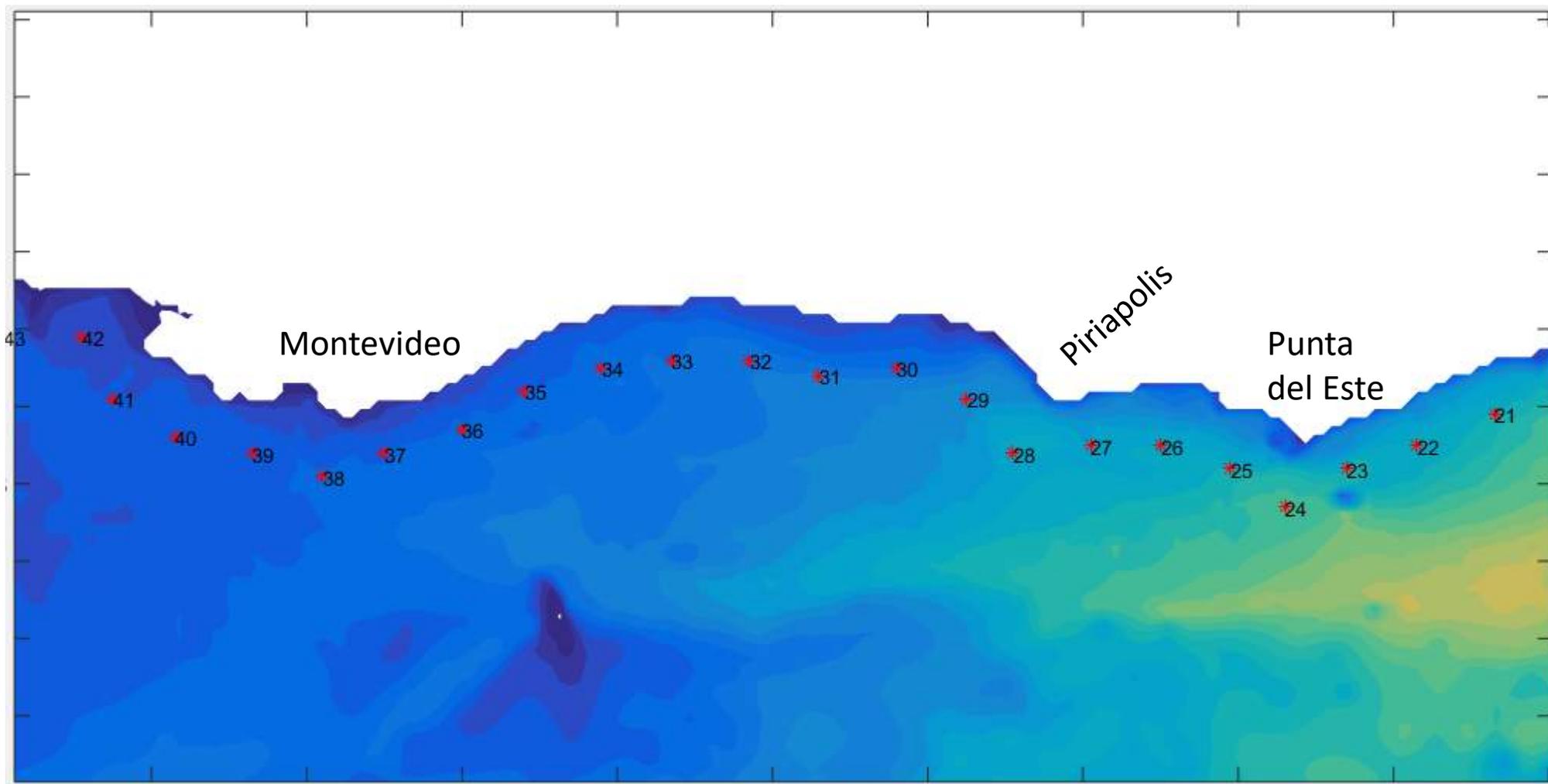




Niveles, oleaje y corrientes



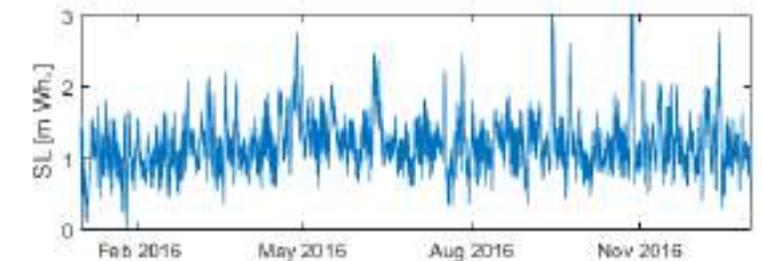
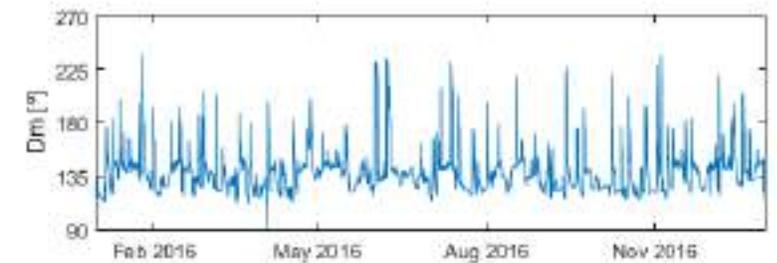
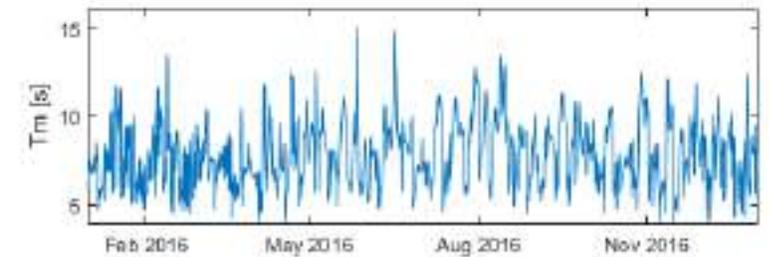
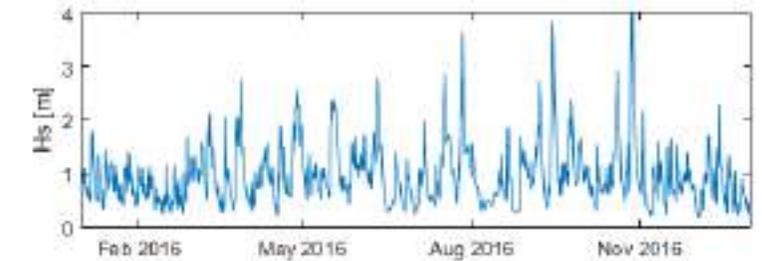
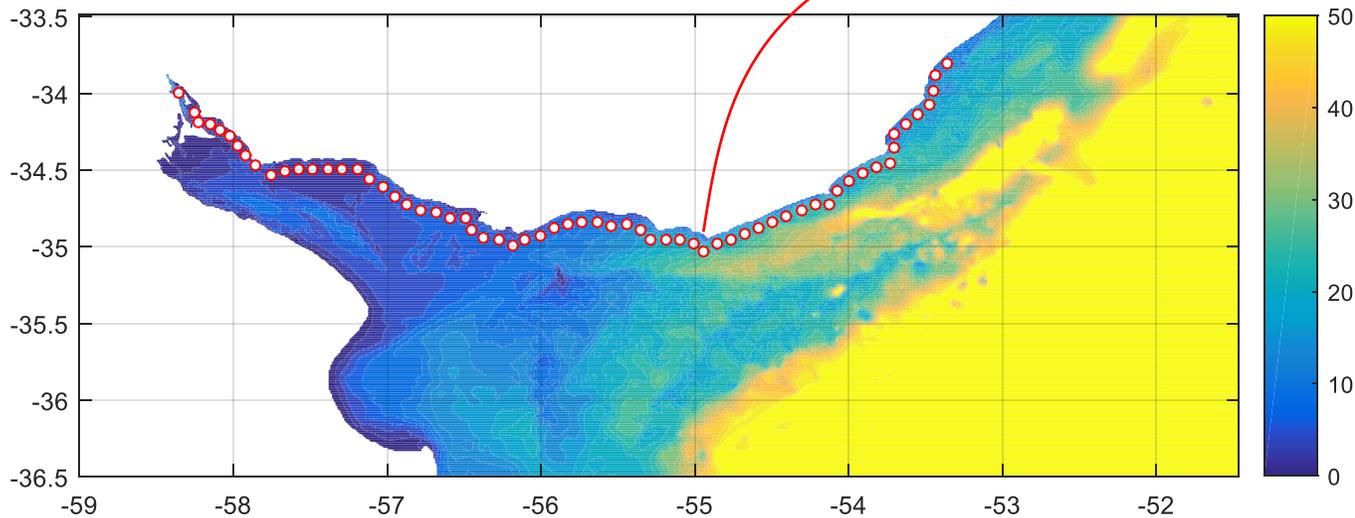
Niveles, oleaje y corrientes



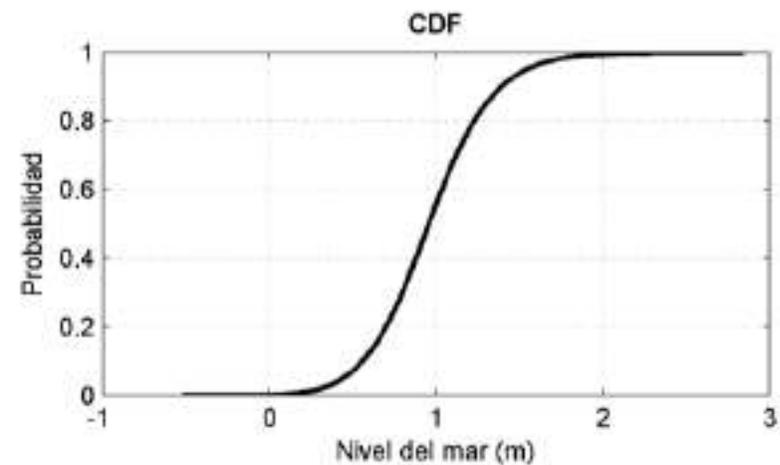
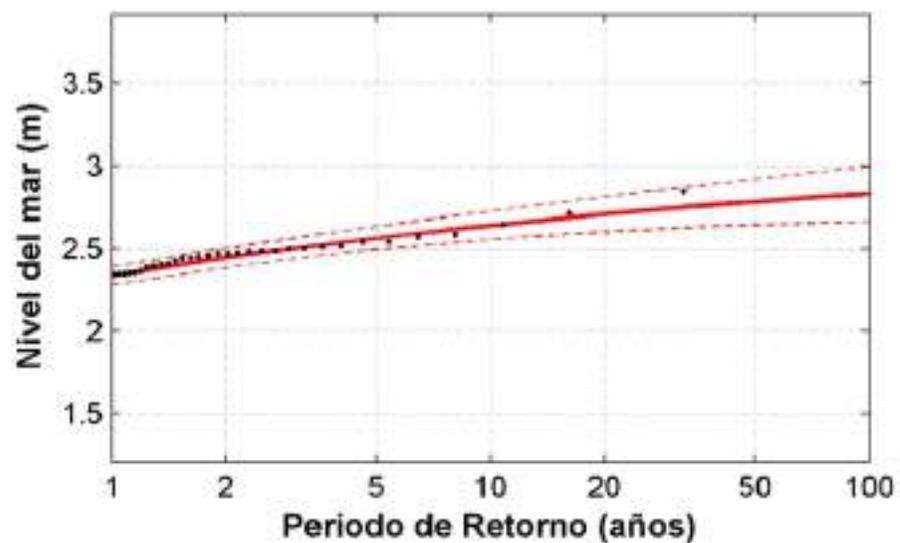
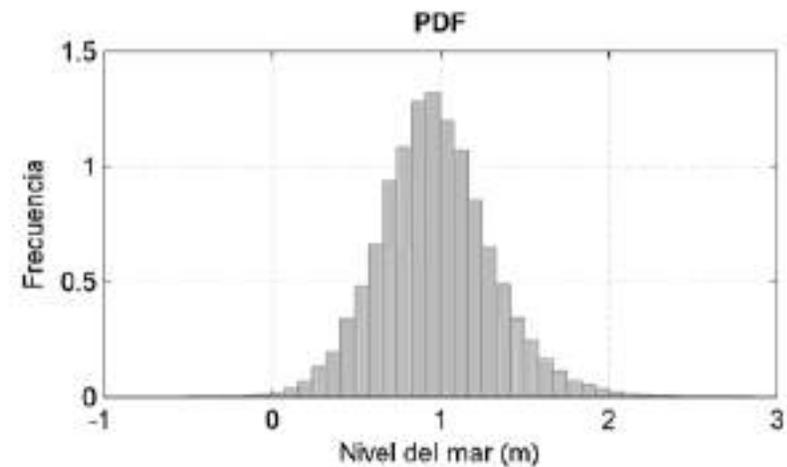
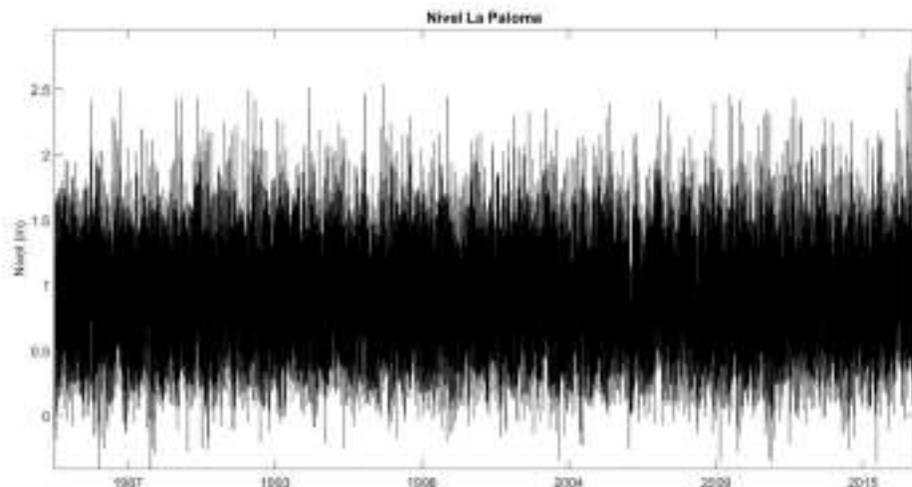
Series temporales horarias en boyas virtuales en toda la costa uruguaya durante 31 años (1985 a 2016):

- Nivel de mar
- Parámetros característicos del oleaje
- Corrientes integradas en vertical
- Vientos de Reanálisis

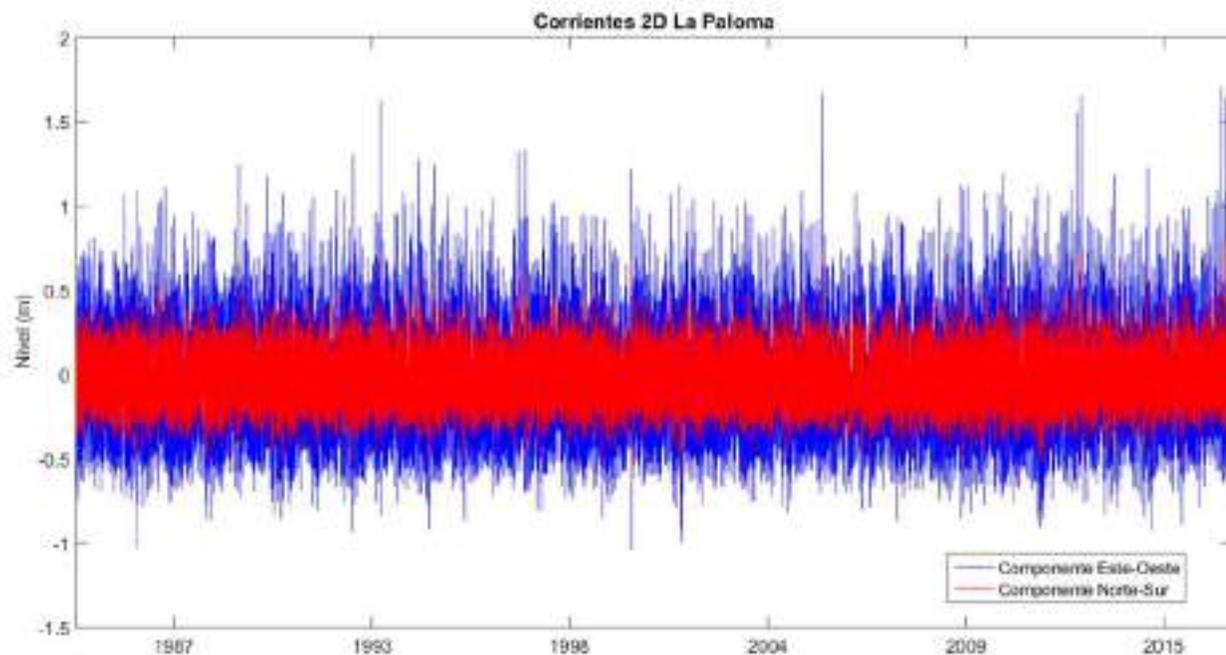
En cada boya virtual se tienen los espectros de oleaje (uno por hora) y la serie de parámetros que caracterizan el estado de mar: H_s , T_p , T_m , D_p , D_m , ... más nivel de mar total y corrientes.



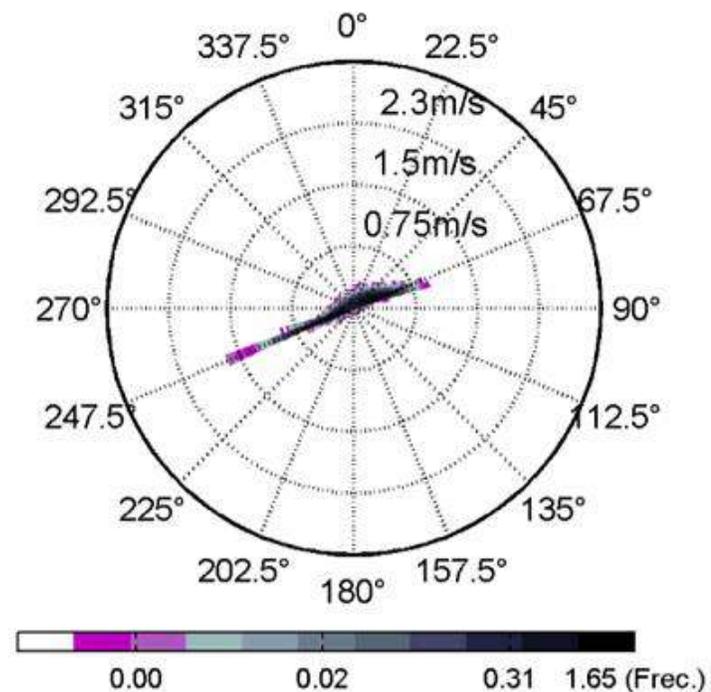
Niveles



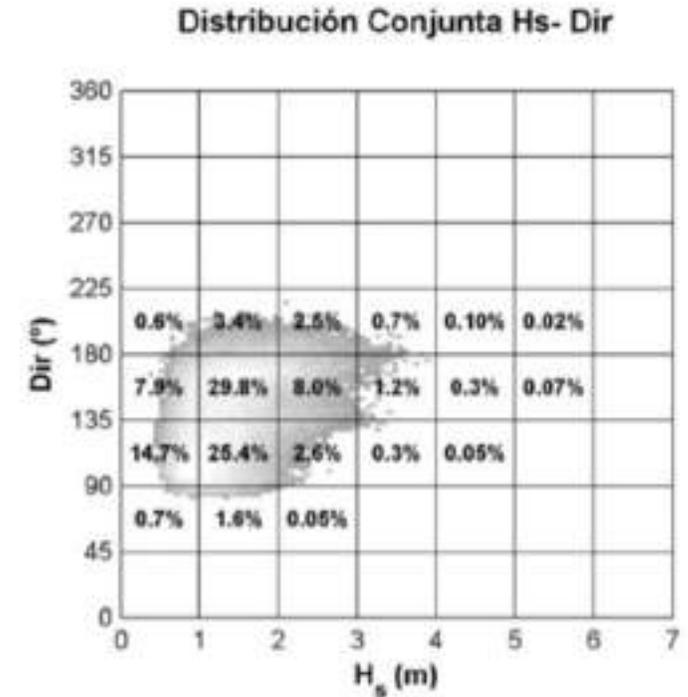
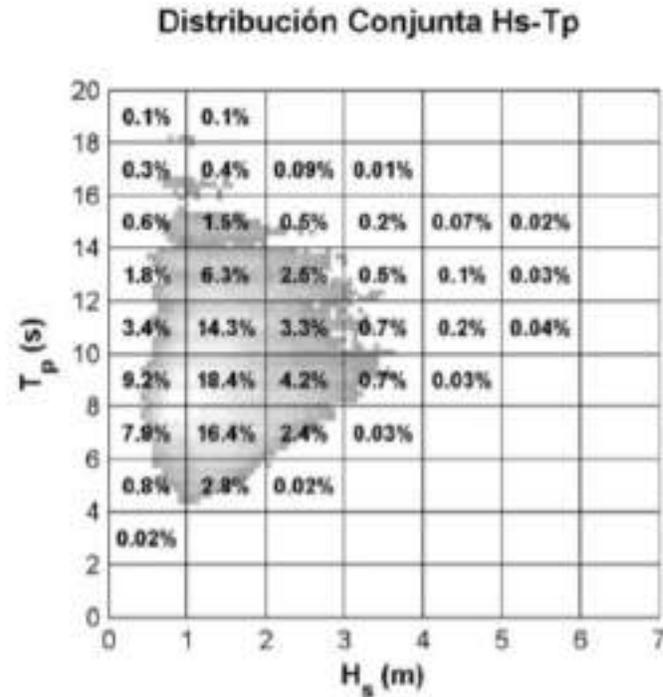
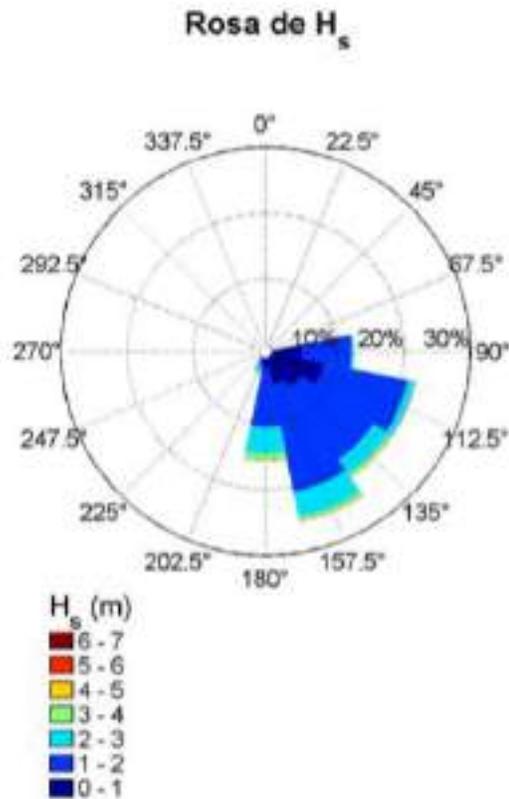
Corrientes



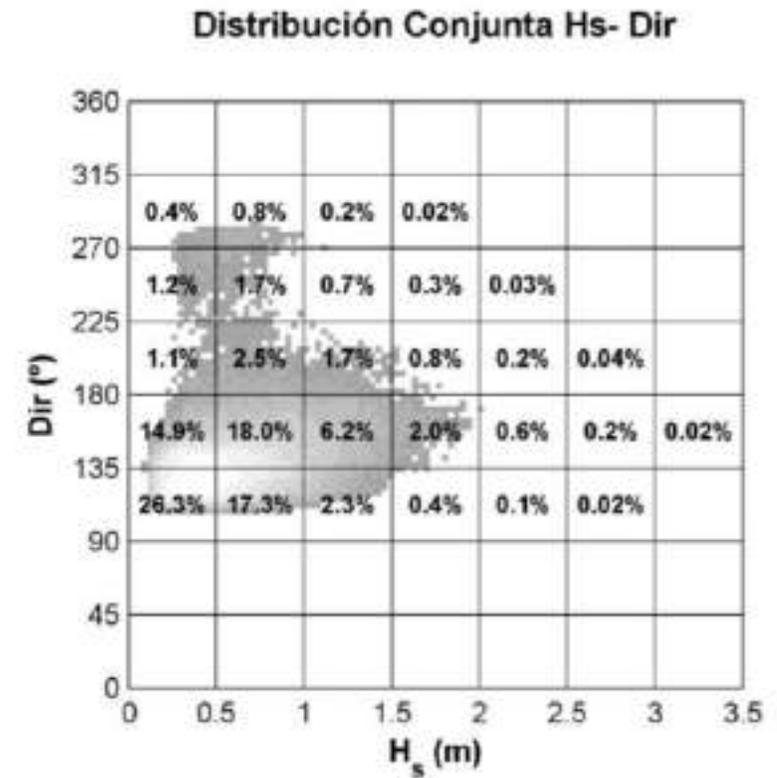
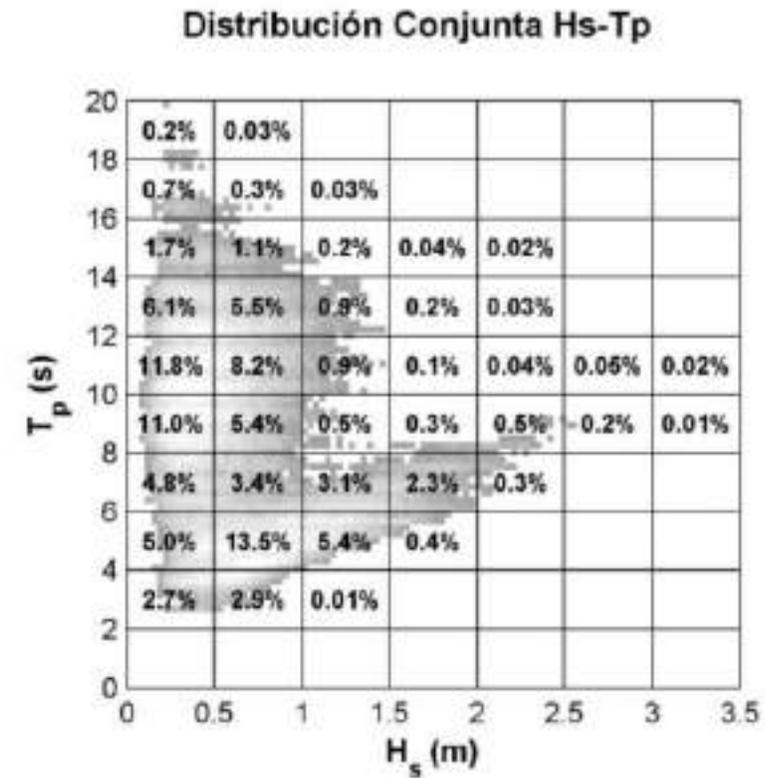
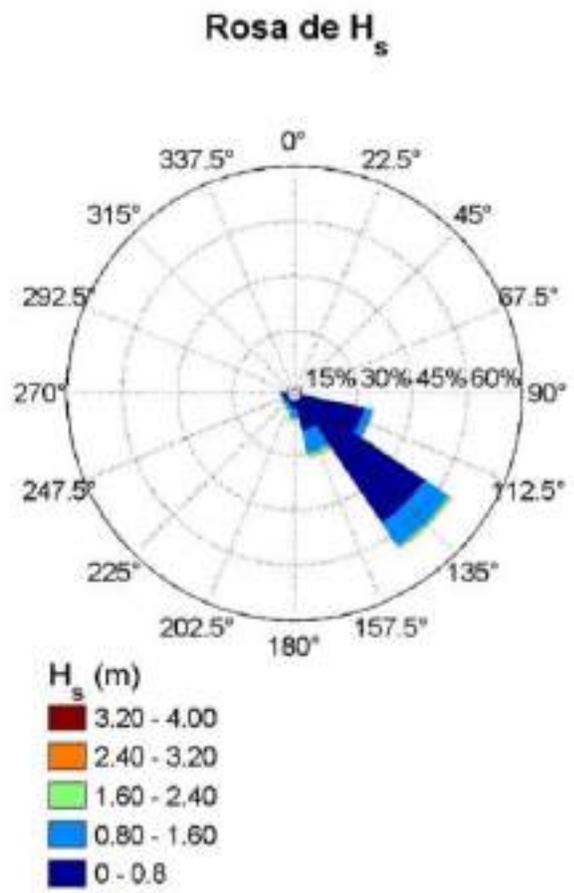
Rosa de probabilidades de Corriente



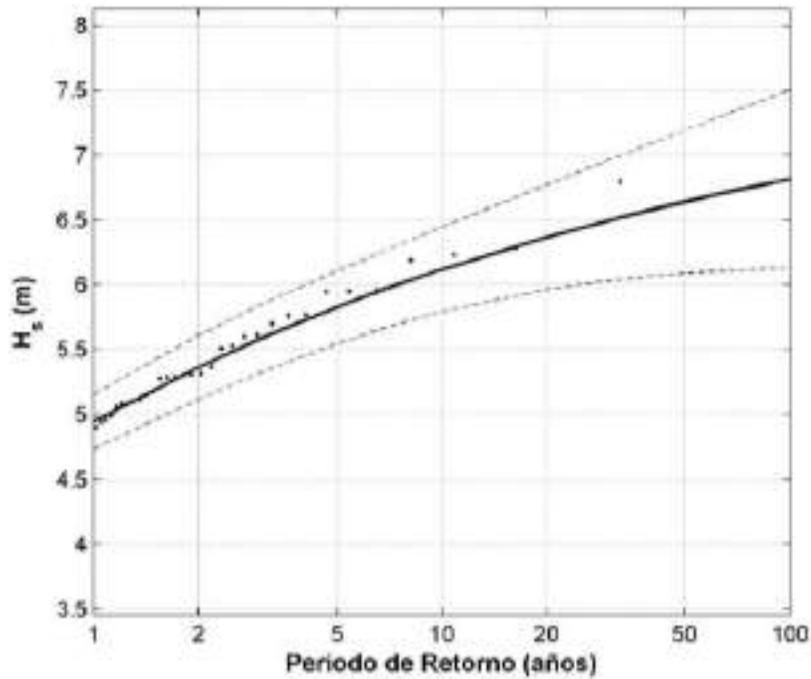
Régimen medio de oleaje: La Paloma



Régimen medio de oleaje: Montevideo

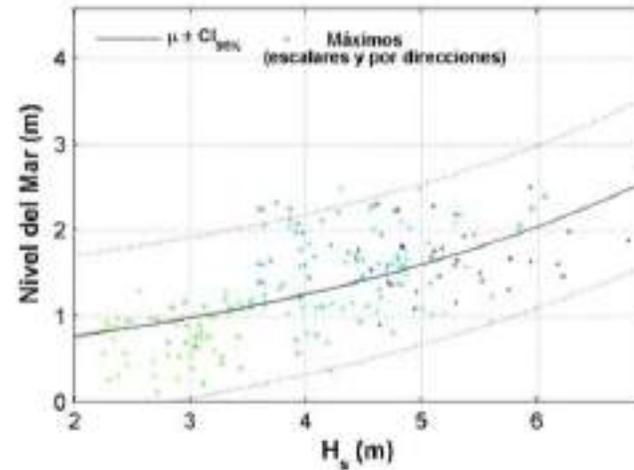
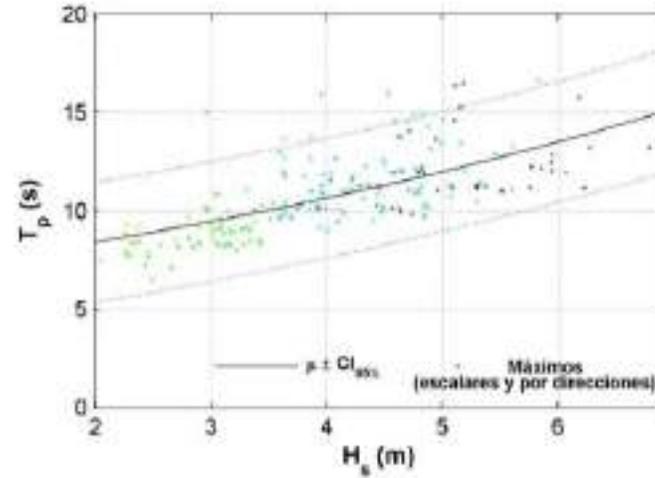


Régimen extremo de oleaje: La Paloma



Función de distribución GEV

$$H_s(T_r; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{T_r}{T_r}\right)^{-\xi}\right)$$



	μ	ψ	ξ	
	4.492	-4.946	0.653	
Tr (años)	10	20	50	100
Hs (m)	6.12	6.37	6.64	6.81
-CI _{95%} (m)	5.79	5.96	6.09	6.13
+CI _{95%} (m)	6.44	6.77	7.19	7.50

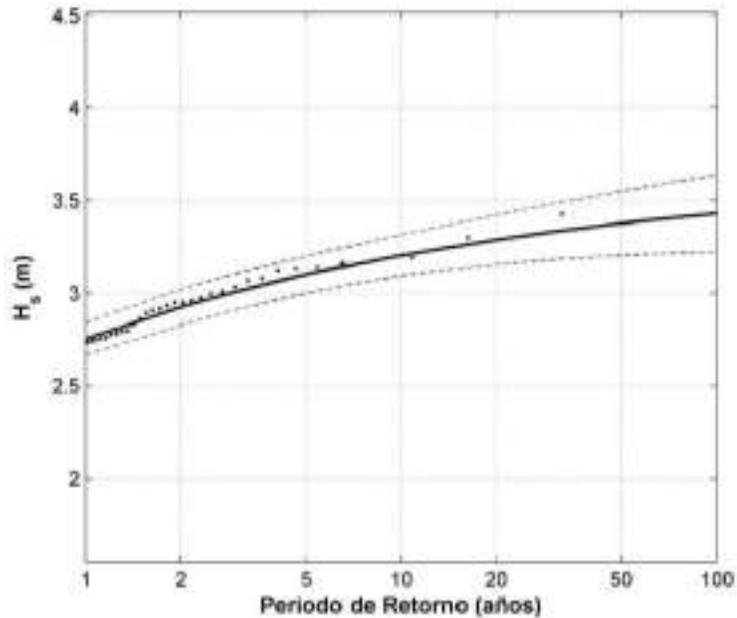
$$\mu(T_p|H_s) = a + e^{bH_s}$$

T_p	a	b
$\mu(T_p H_s)$	6.627	0.118
-CI _{95%}	6.054	0.099
+CI _{95%}	7.201	0.138

$$\mu(Nivel|H_s) = a + e^{bH_s}$$

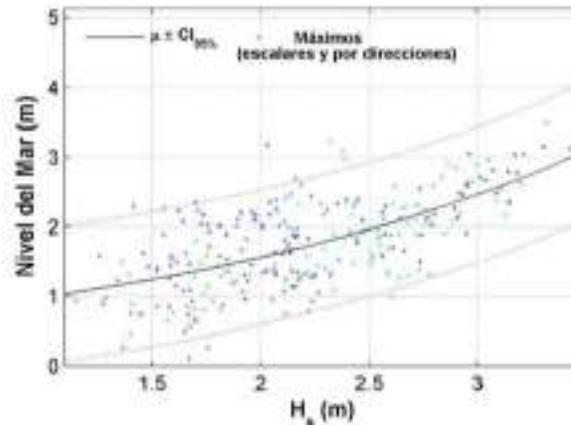
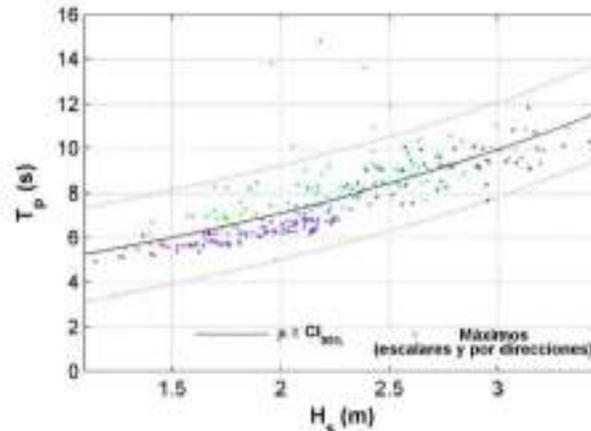
Nivel	a	b
$\mu(Nivel H_s)$	0.470	0.244
-CI _{95%}	0.363	0.196
+CI _{95%}	0.578	0.293

Régimen extremo de oleaje: Montevideo



Función de distribución GEV

$$H_s(T; \mu, \psi, \xi) = \mu - \frac{\psi}{\xi} \left(1 - \left(\frac{T}{Tr} \right)^{-\xi} \right)$$



	u	μ	ψ	ξ
	2.524	2.758	0.270	-0.300
Tr (años)	10	20	50	100
Hs (m)	3.21	3.29	3.38	3.43
- CI_{95%} (m)	3.10	3.16	3.21	3.23
+ CI_{95%} (m)	3.32	3.42	3.55	3.64

$$\mu(T_p|H_s) = a * e^{bH_s}$$

T_p	a	b
$\mu(T_p H_s)$	3.628	0.336
- CI95%	3.331	0.302
+ CI95%	3.924	0.370

$$\mu(Nivel|H_s) = a * e^{bH_s}$$

Nivel	a	b
$\mu(Nivel H_s)$	0.628	0.456
- CI95%	0.523	0.389
+ CI95%	0.733	0.523

Proyecciones de cambio de los agentes marítimos

Debido a que los cambios en los parámetros de oleaje y el residuo del nivel del mar debido al ANMM son pequeños, en la evaluación de los efectos de cambio climático no se han considerado cambios en el oleaje o el residuo del nivel del mar debido al cambio climático. Tampoco se han considerado cambios en las condiciones hidrológicas. Dado que los eventos extremos se analizan con base en las series históricas, el aumento del nivel medio del mar se convierte en el forzador más relevante en las proyecciones futuras, pero manteniendo el papel que juegan el resto de las dinámicas que intervienen en la inundación.

Proyecciones de cambio de los agentes marítimos

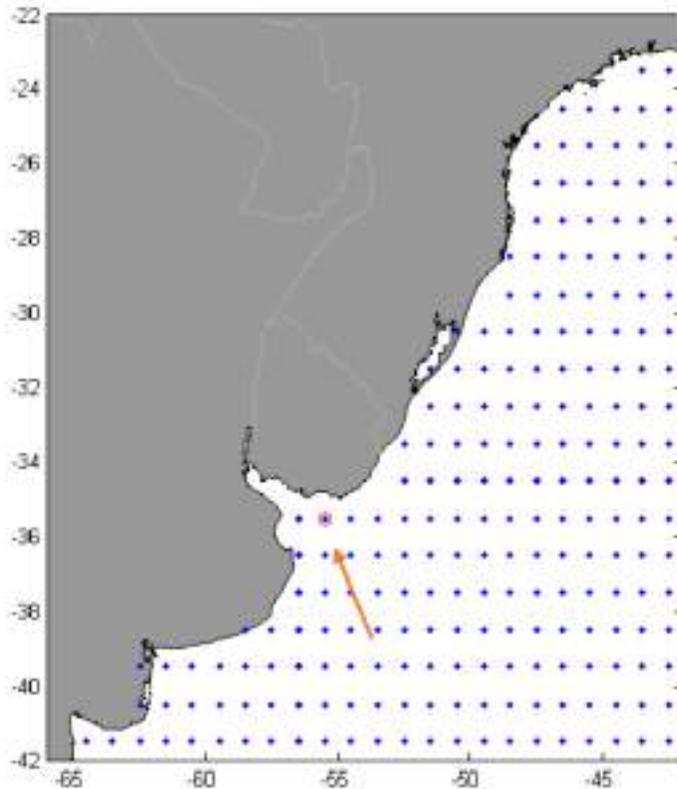


Figura 3. Localización del punto utilizado para el estudio del ANMM en Uruguay.

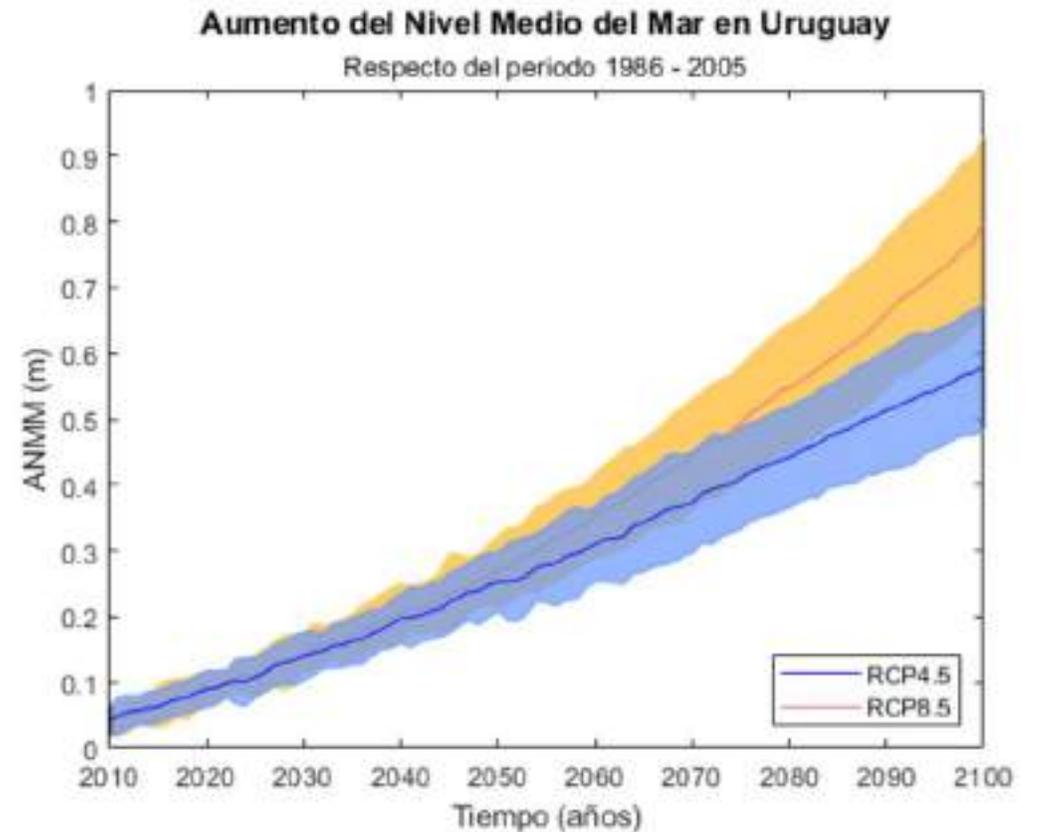


Figura 4. Valor medio y banda de confianza del 90% de las diferencias de nivel medio del mar con respecto al periodo (1985-2005), obtenidas a partir de un conjunto (ensamble) de 21 modelos del CMIP5 (Church et al., 2013), para el RCP4.5 y el RCP8.5.

Proyecciones de cambio de los agentes marítimos

Tabla 2. Valores de ANMM para los horizontes temporales 2050 y 2100 en Uruguay.

Horizonte temporal	ANMM								
	Media de los RCPs			RCP4.5			RCP8.5		
	Percentil 5%	Valor medio	Percentil 95%	Percentil 5%	Valor medio	Percentil 95%	Percentil 5%	Valor medio	Percentil 95%
2050	0,21m	0,26m	0,31m	-			-		
2100	-			0,48m	0,58m	0,67m	0,66m	0,80m	0,93m

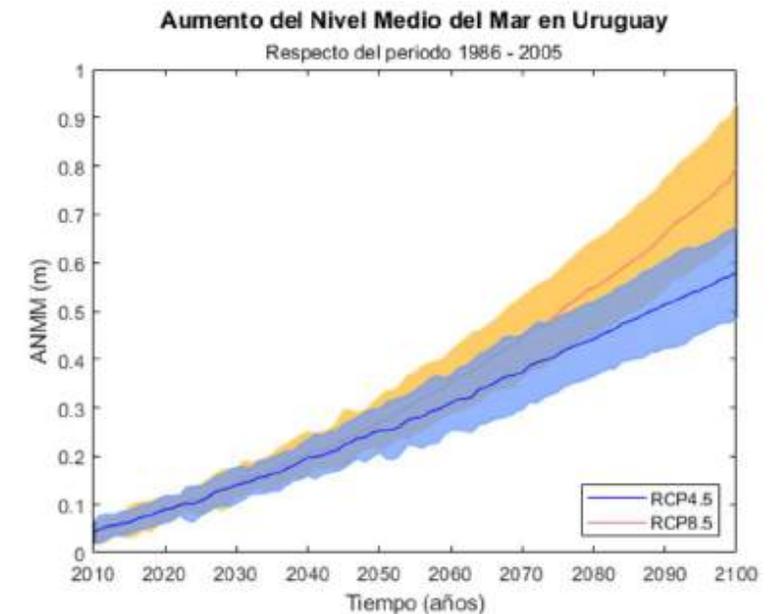


Figura 4. Valor medio y banda de confianza del 90% de las diferencias de nivel medio del mar con respecto al periodo (1985-2005), obtenidas a partir de un conjunto (ensemble) de 21 modelos del CMIP5 (Church et al., 2013), para el RCP4.5 y el RCP8.5.

Resultados Proyecto URU/18/002 'Desarrollo de herramientas tecnológicas para la evaluación de los impactos, la vulnerabilidad y la adaptación al cambio climático en la zona costera de Uruguay'

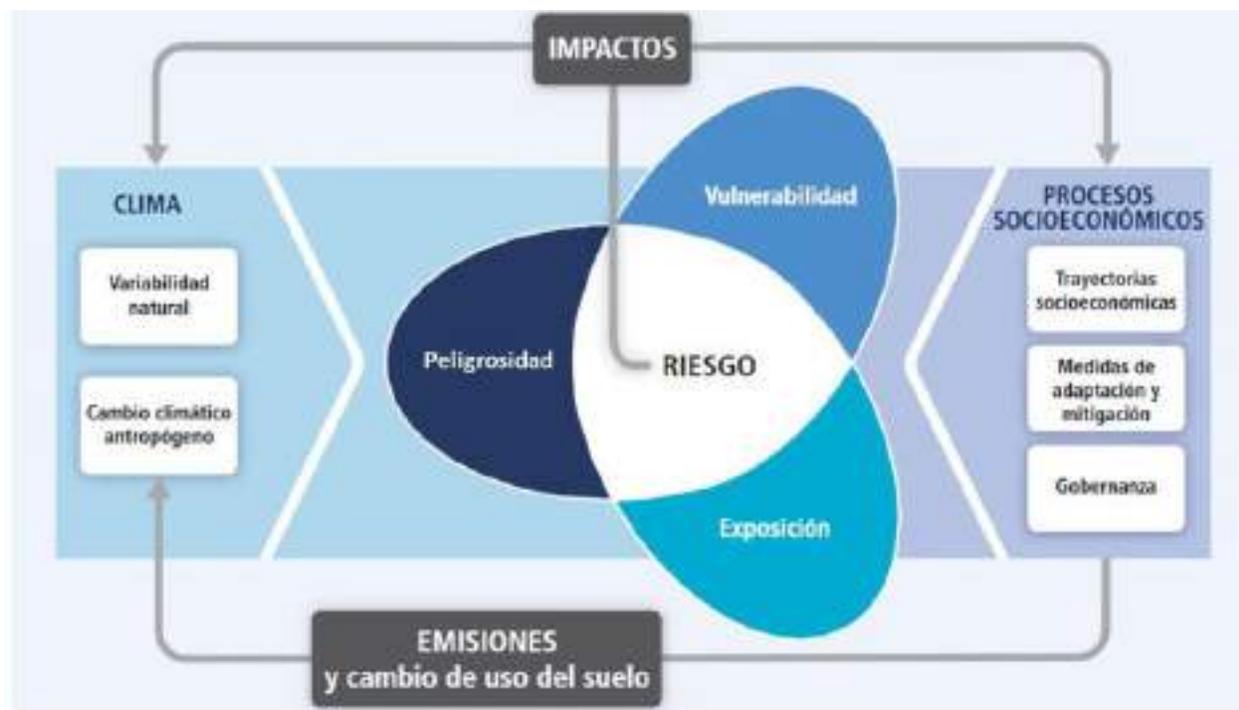


Figura 1. Metodología de riesgo adoptada por el IPCC (IPCC, 2014)

RESULTADOS: AMENAZAS Y RIESGOS

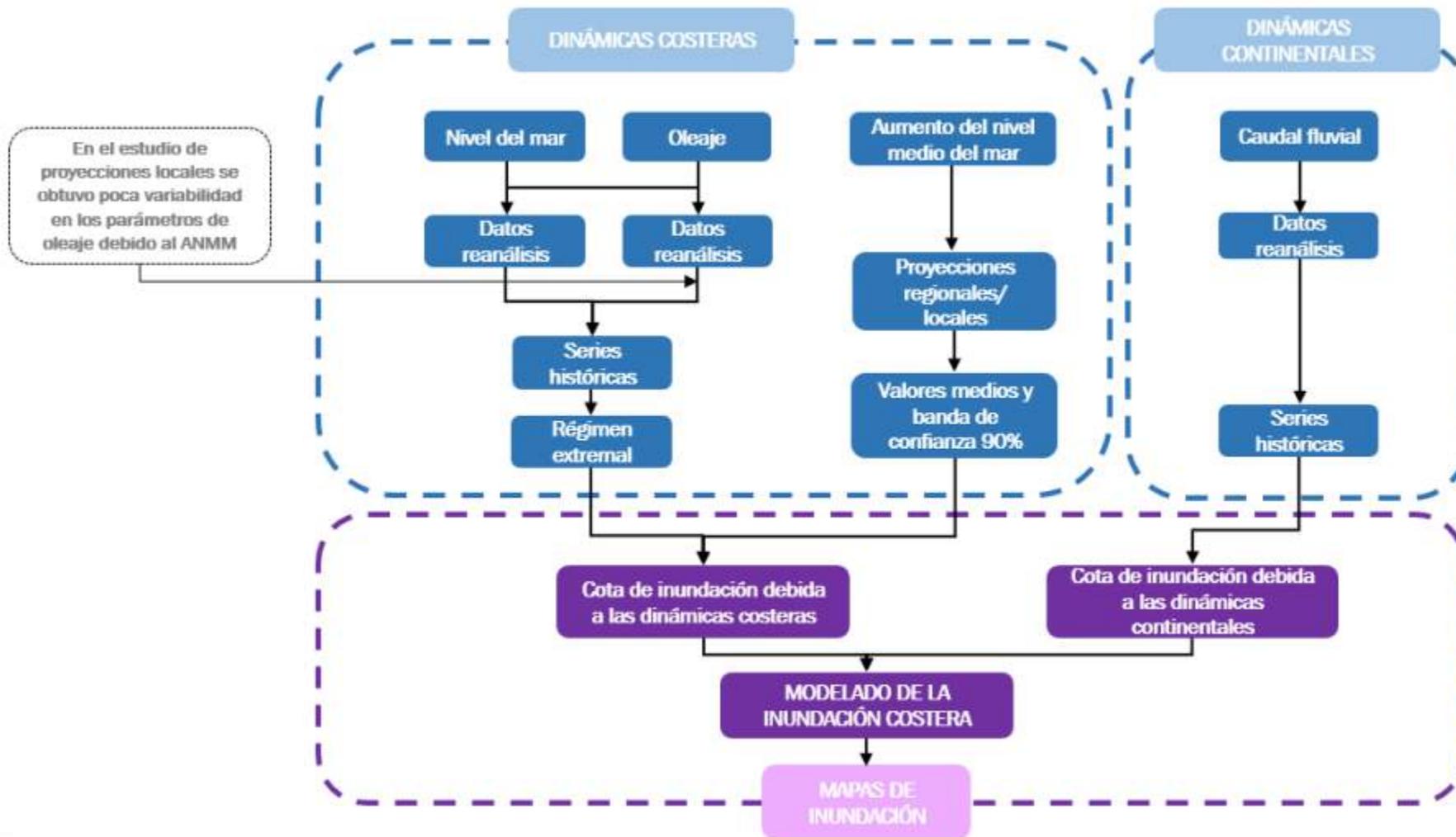
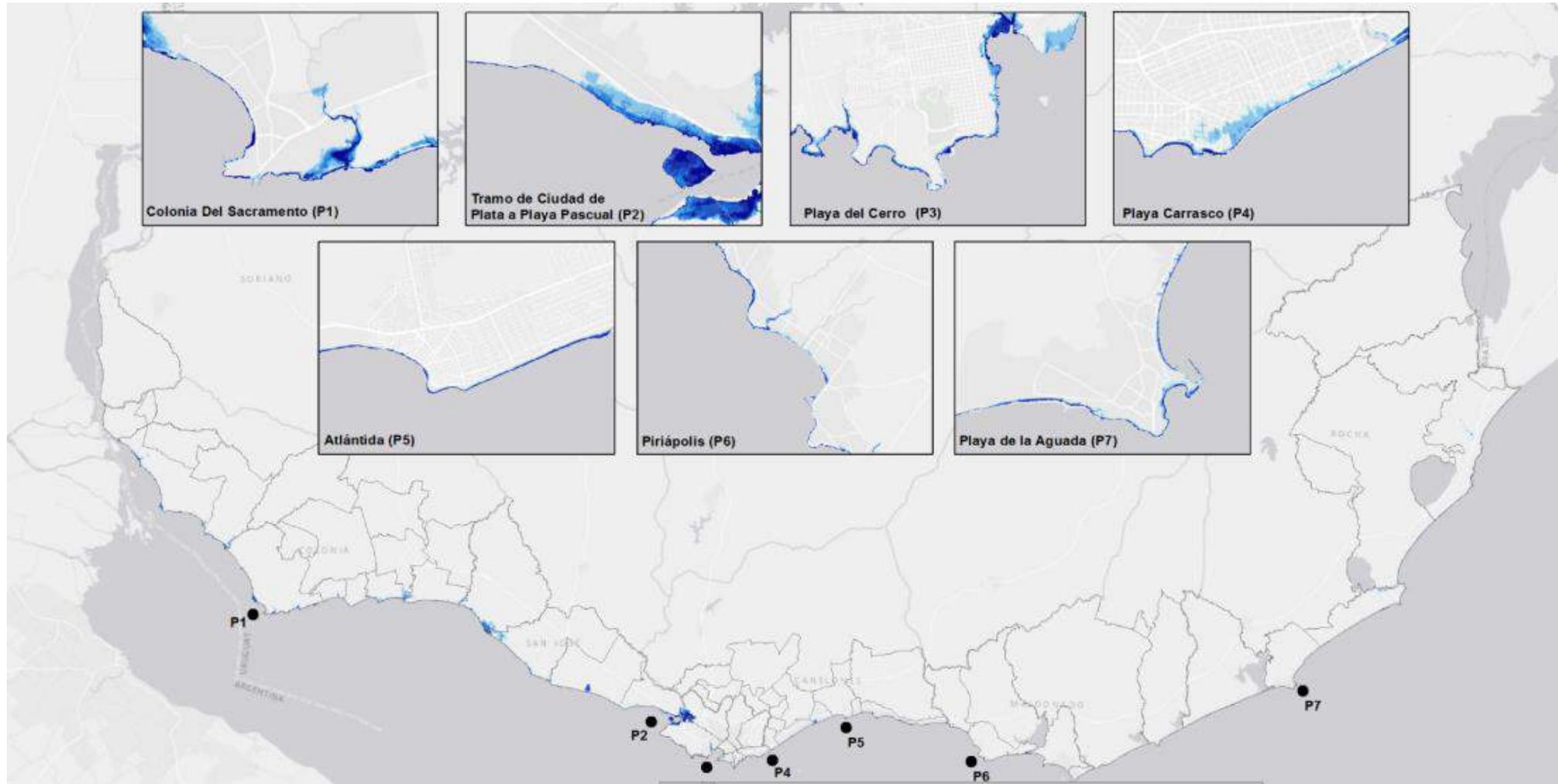


Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología seguida para obtener los mapas de inundación que determinaran los mapas de impacto que alimentan el análisis de riesgo.

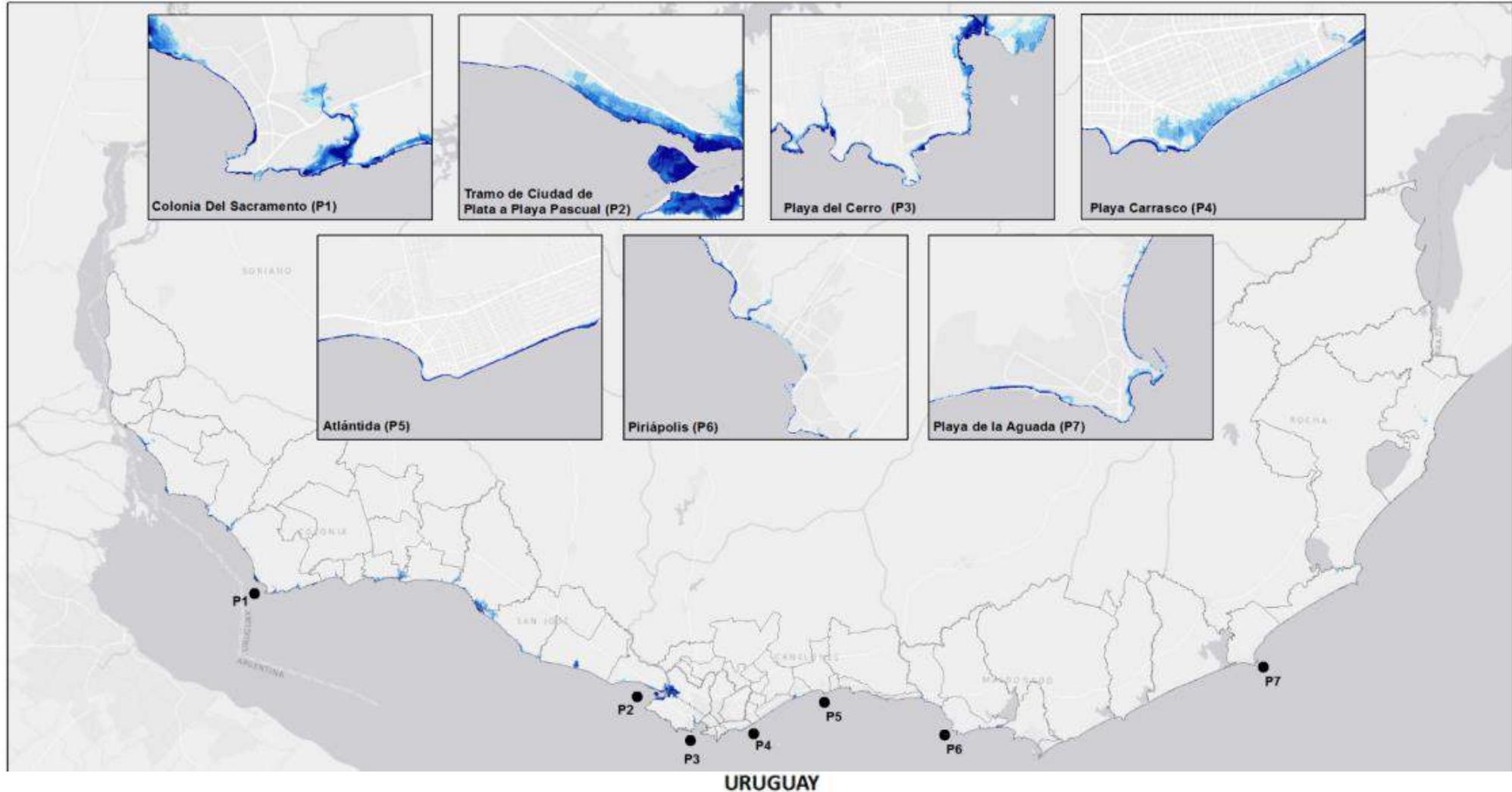
RESULTADOS: AMENAZAS Y RIESGOS



URUGUAY

Mapa de inundación costera asociada a la CI de periodo de retorno 100 años,
para el horizonte 2100, RCP8.5, valor medio de ANMM, ámbito nacional

RESULTADOS: AMENAZAS Y RIESGOS



Mapa de inundación costera asociada a la CI de periodo de retorno 500 años,
para el horizonte 2100, RCP8.5, valor medio de ANMM, ámbito nacional

RESULTADOS: AMENAZAS Y RIESGOS

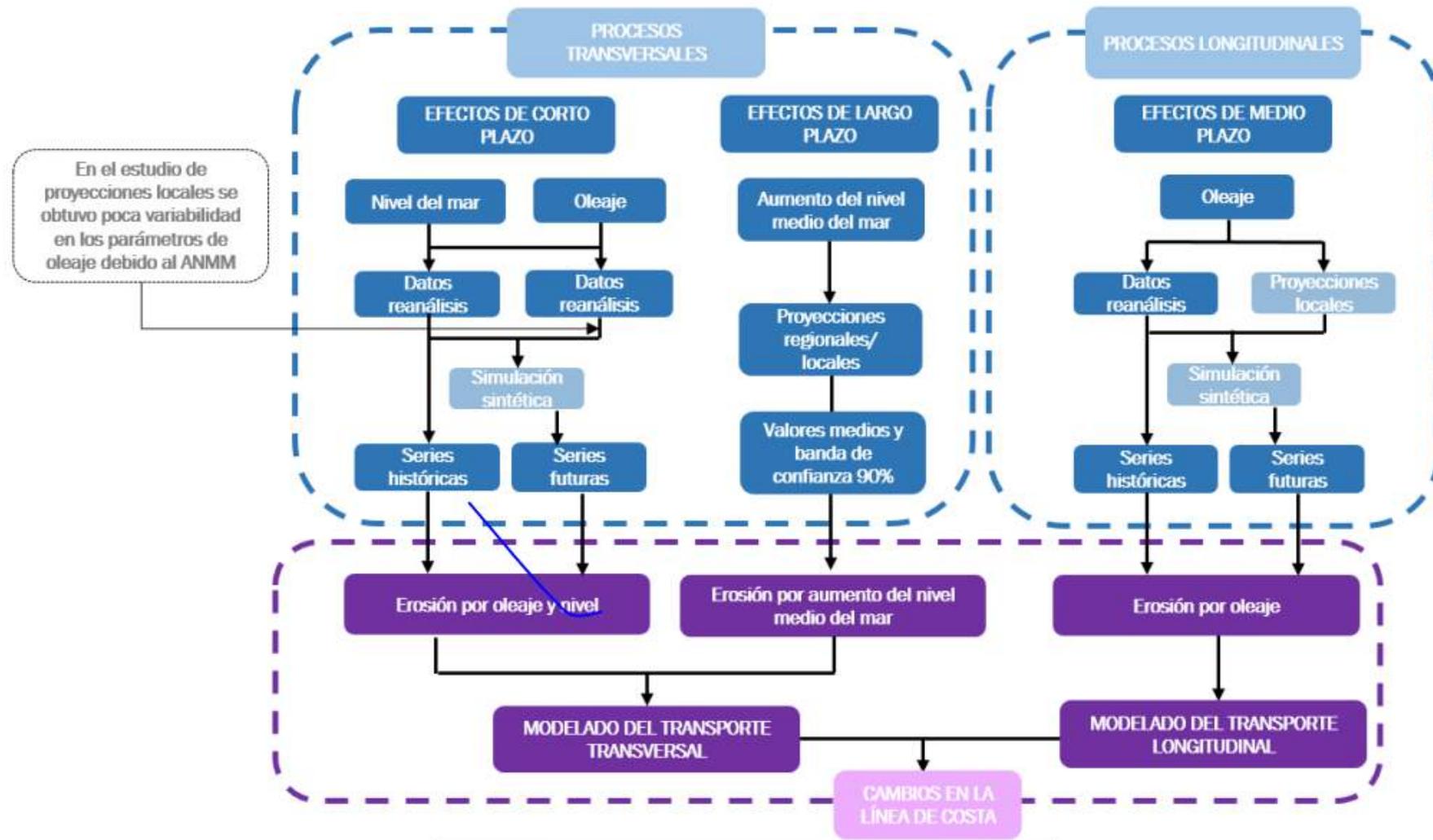
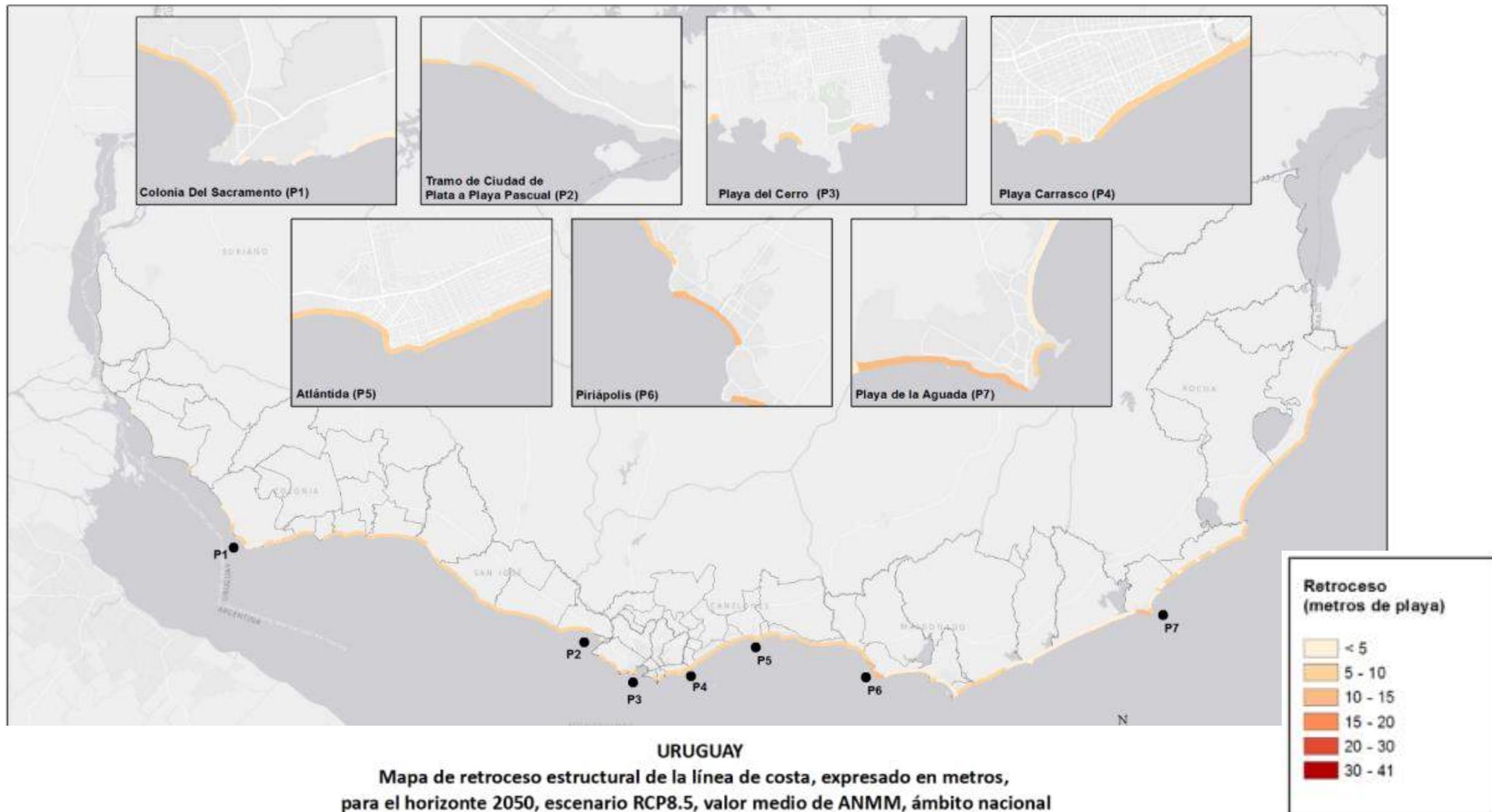


Figura 28. Diagrama de flujo de la metodología seguida para obtener los cambios en la línea de costa

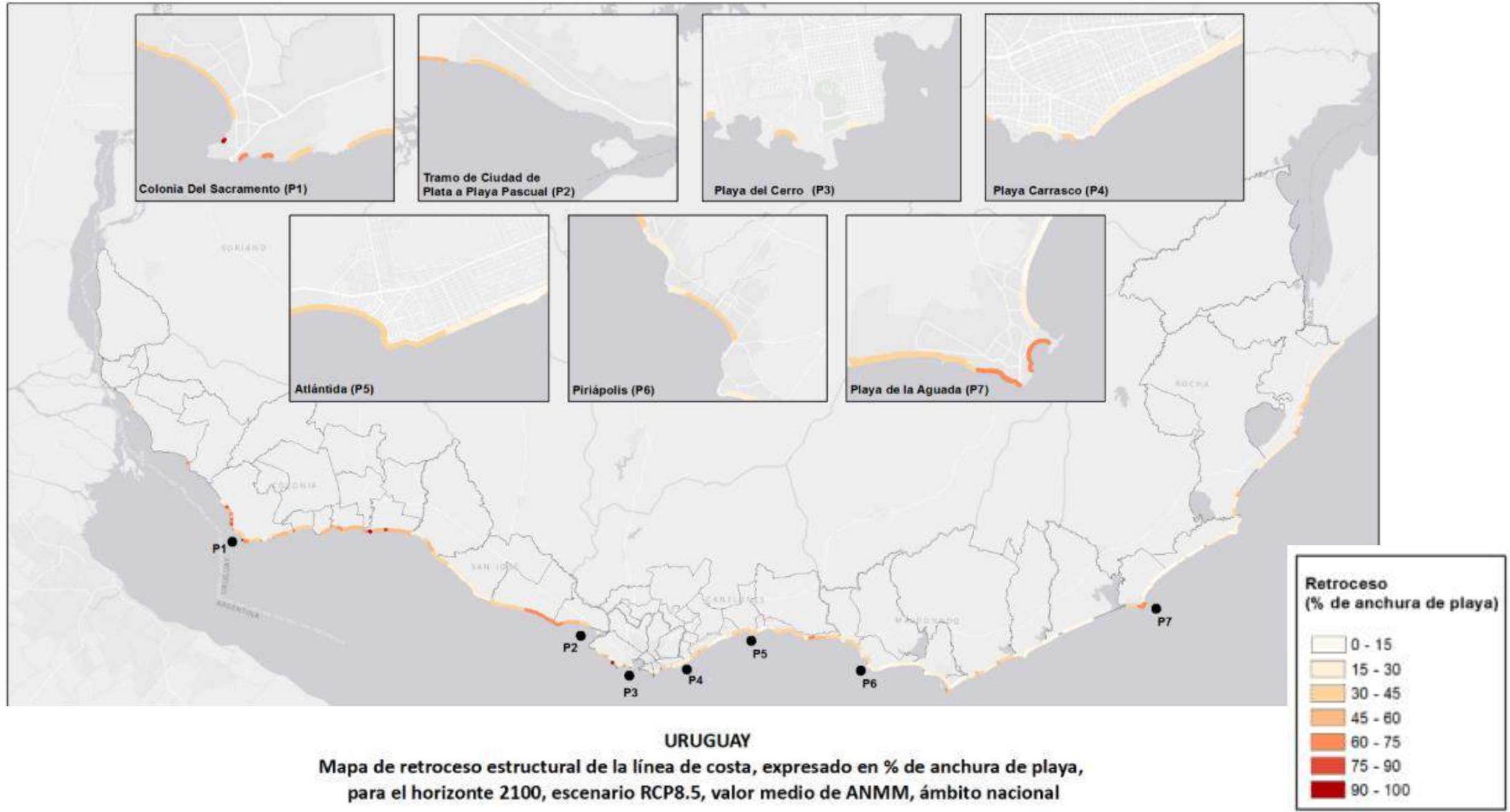


Figura 25. Retroceso estructural de la línea de costa debido al ANMM en 2050 y 2100 en la playa de la Aguada. La línea marrón representa la línea de costa inicial, la línea verde (2050, RCP promedio) y moradas (2100, RCP8.5) representan la línea de costa en el futuro debido al ANMM.

RESULTADOS: AMENAZAS Y RIESGOS



RESULTADOS: AMENAZAS Y RIESGOS





Bases de datos de
agentes marítimos
(hindcast)



Diagnóstico de
problemas actuales y
diseño de
intervenciones

Proyecciones de cambio
de los agentes
marítimos



Diseño de medidas
de adaptación

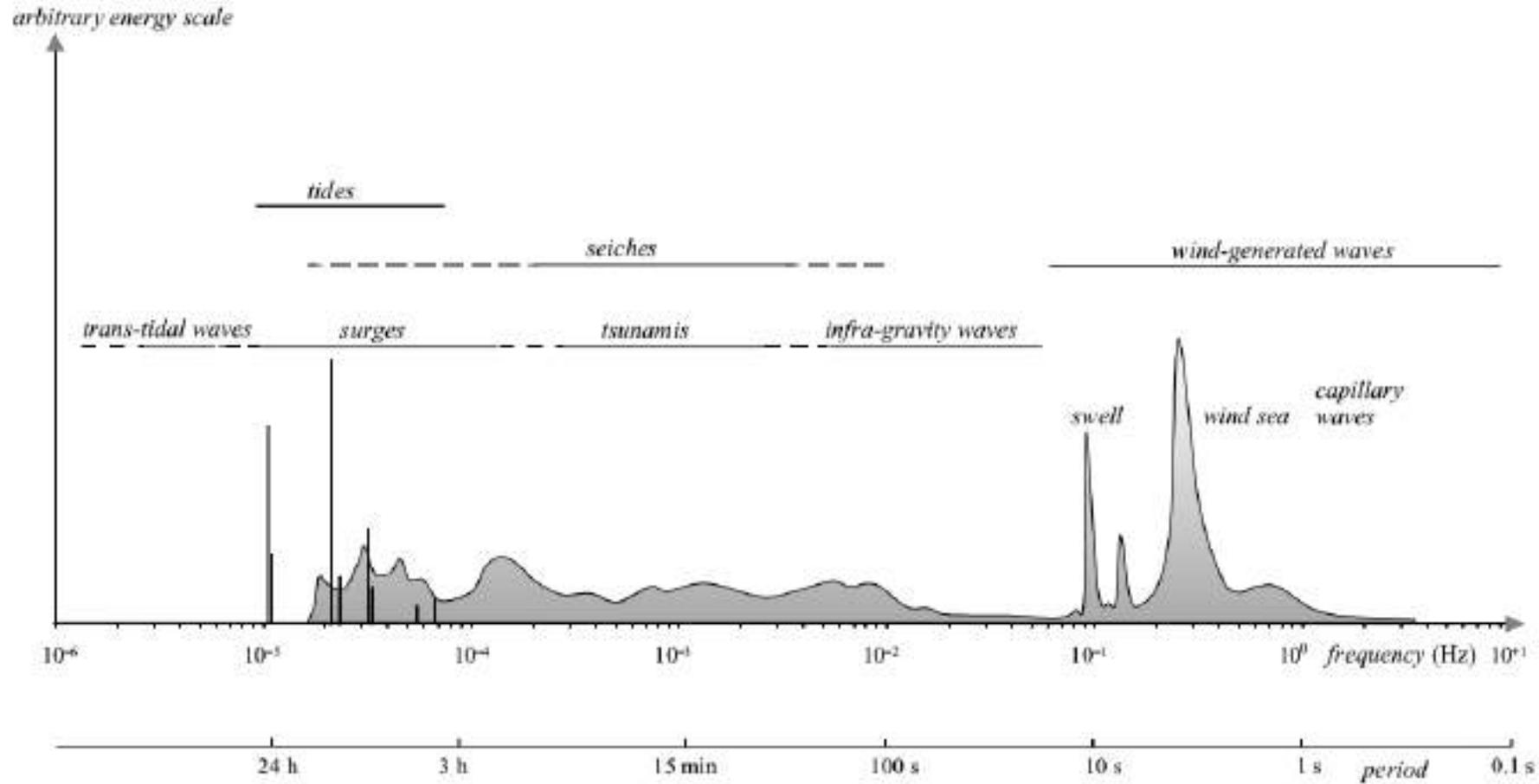
Tanto para la realización de diagnósticos como para el diseño de intervenciones es necesario caracterizar los agentes en el sitio.

Para esto es necesario modelar la transformación de los agentes desde el punto en el que están dados (e.g. boyas virtuales) hasta la costa, en particular el oleaje.

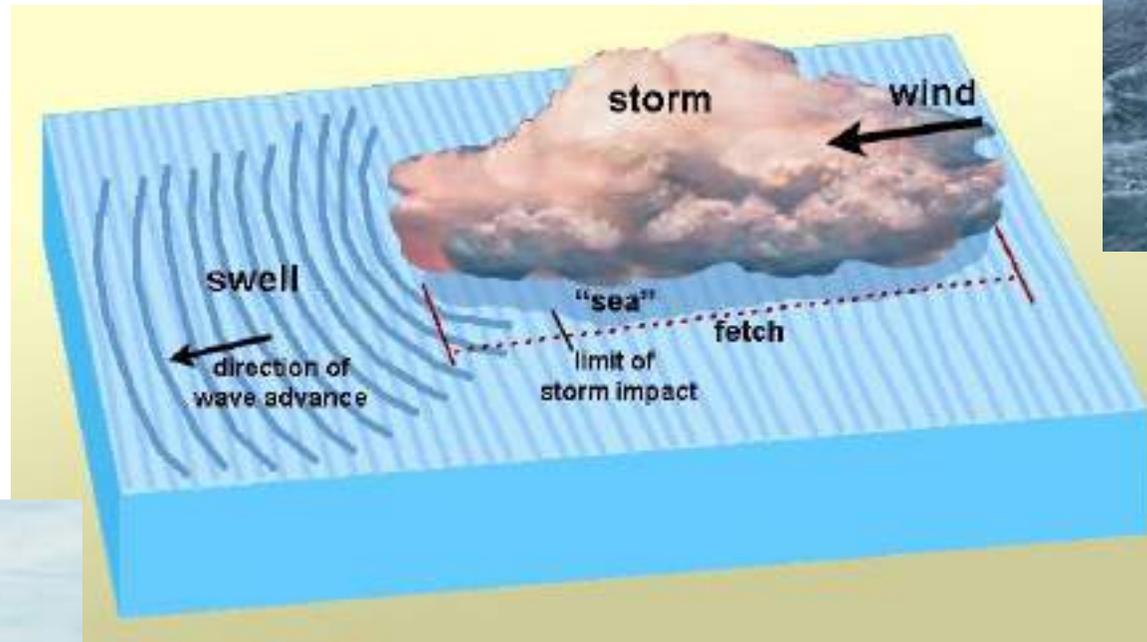


Modelos numéricos de propagación de oleaje que modelan los distintos procesos de transformación del oleaje.

¿Qué son el oleaje y las variaciones del nivel de mar?



¿Qué tipos de oleaje se distingue?



Oleaje local (sea)

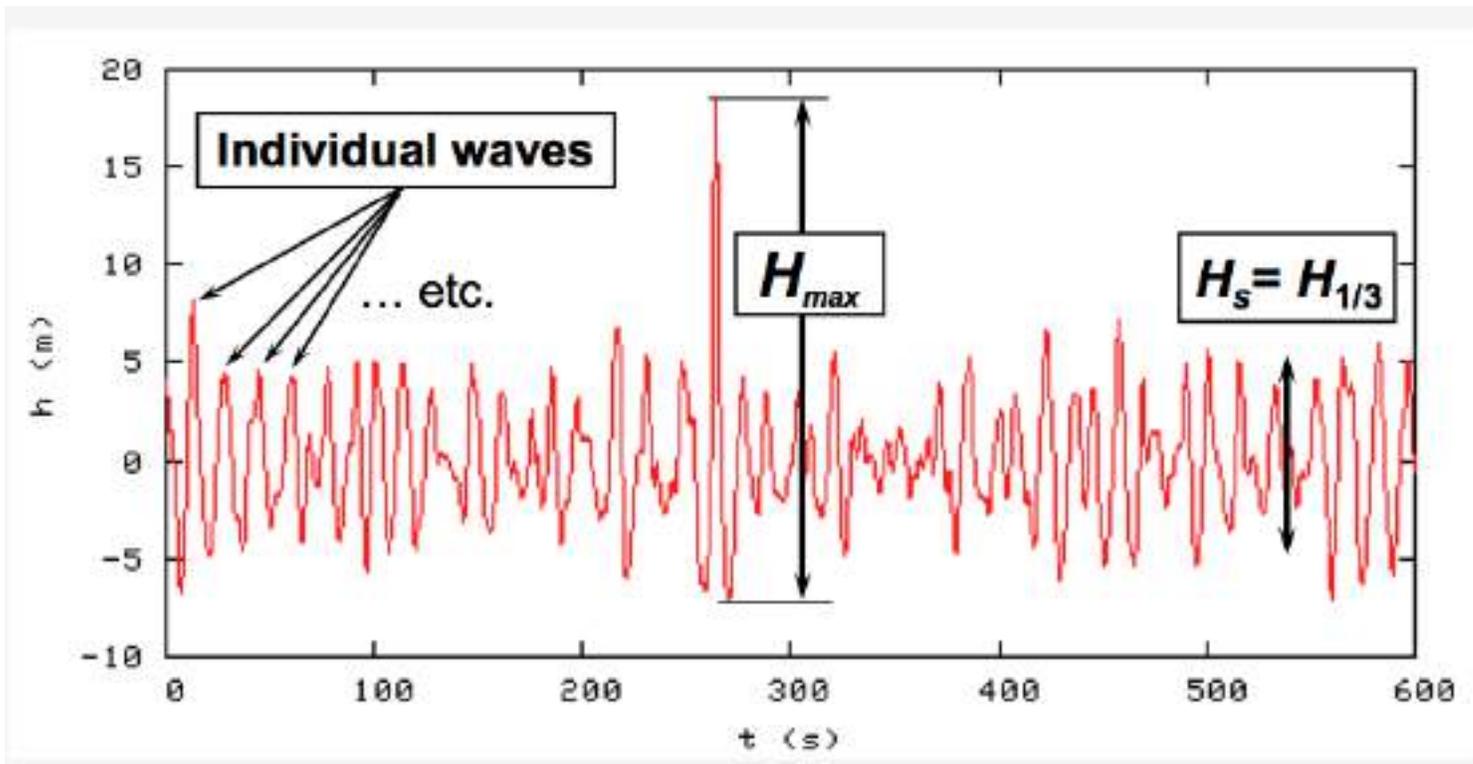
Mar de fondo (swell)



¿Cómo se caracteriza el oleaje?

Estado de mar: condiciones representativas de 1 – 3 hrs (tiempo de registro mínimo 15 – 30 min).

Mínimo tres parámetros: una altura de ola, un período y una dirección.



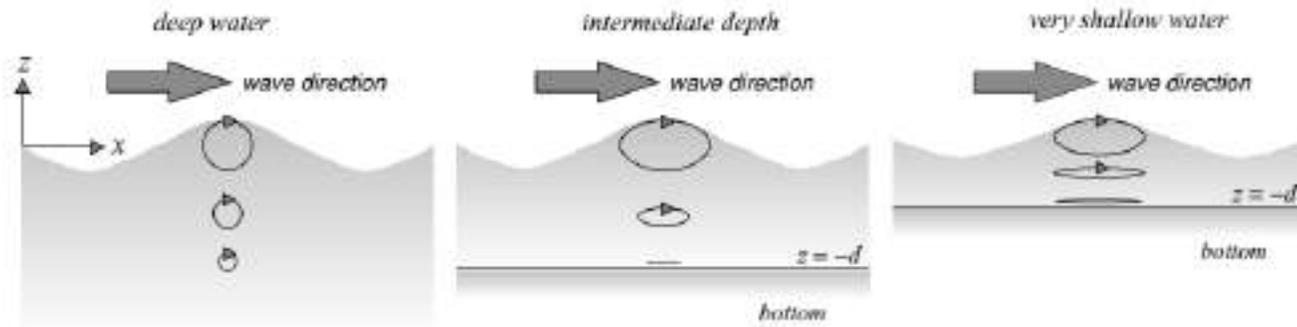
$$\text{significant wave height} = H_{1/3} = \frac{1}{N/3} \sum_{j=1}^{N/3} H_j$$

$$H_{max} \approx 2H_s$$

¿Cómo se trabaja con el oleaje y los niveles?

El oleaje es necesario propagarlo hasta la playa, teniendo en cuenta que los procesos de transformación del mismo estarán determinados por la batimetría y el nivel de mar.

¿Cuáles son los procesos de transformación del oleaje durante la propagación hacia la costa?

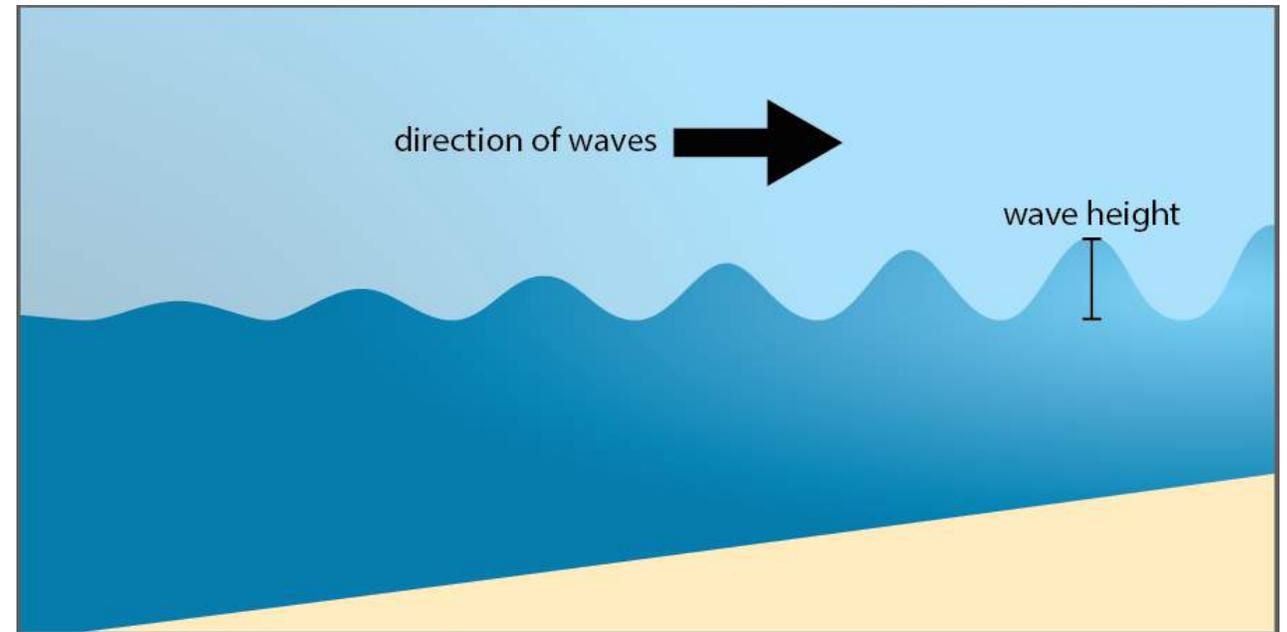


- Asomeroamiento
- Refracción
- Difracción
- Reflexión
- Disipación
- Rotura

¿Cuáles son los procesos de transformación del oleaje durante la propagación hacia la costa?

- Asomeramiento

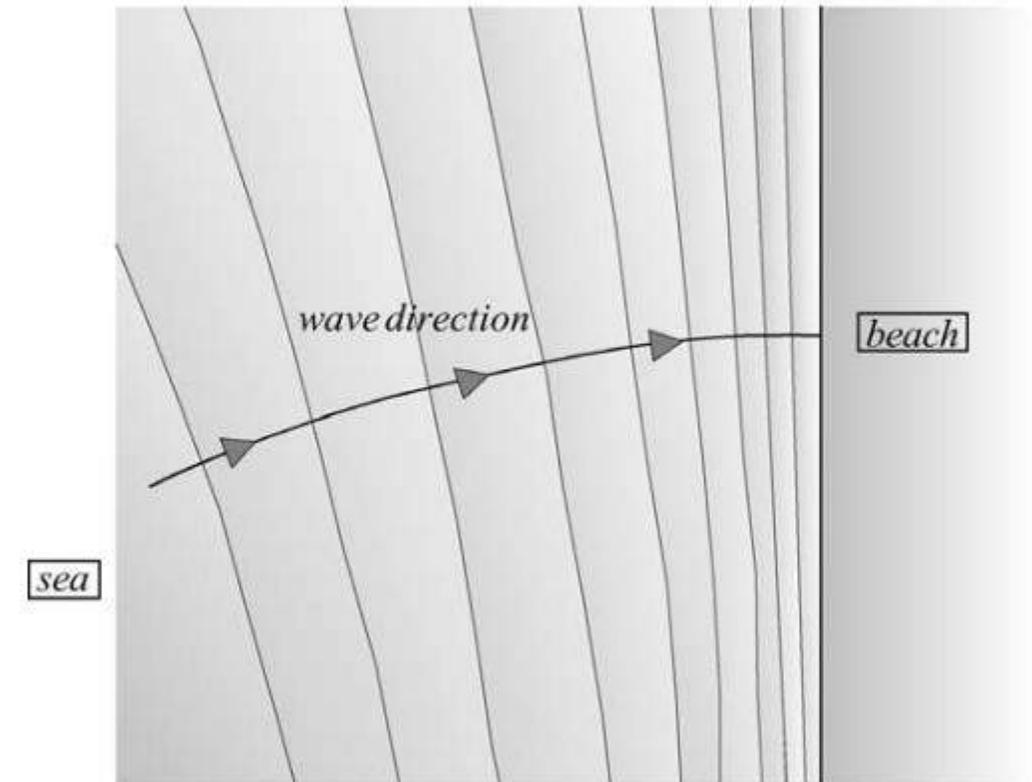
Cambio en la longitud de onda y la altura de ola del oleaje a medida que disminuye la profundidad.



¿Cuáles son los procesos de transformación del oleaje durante la propagación hacia la costa?

- Refracción

Cambio en la dirección de propagación del oleaje por efecto de las variaciones de profundidad.

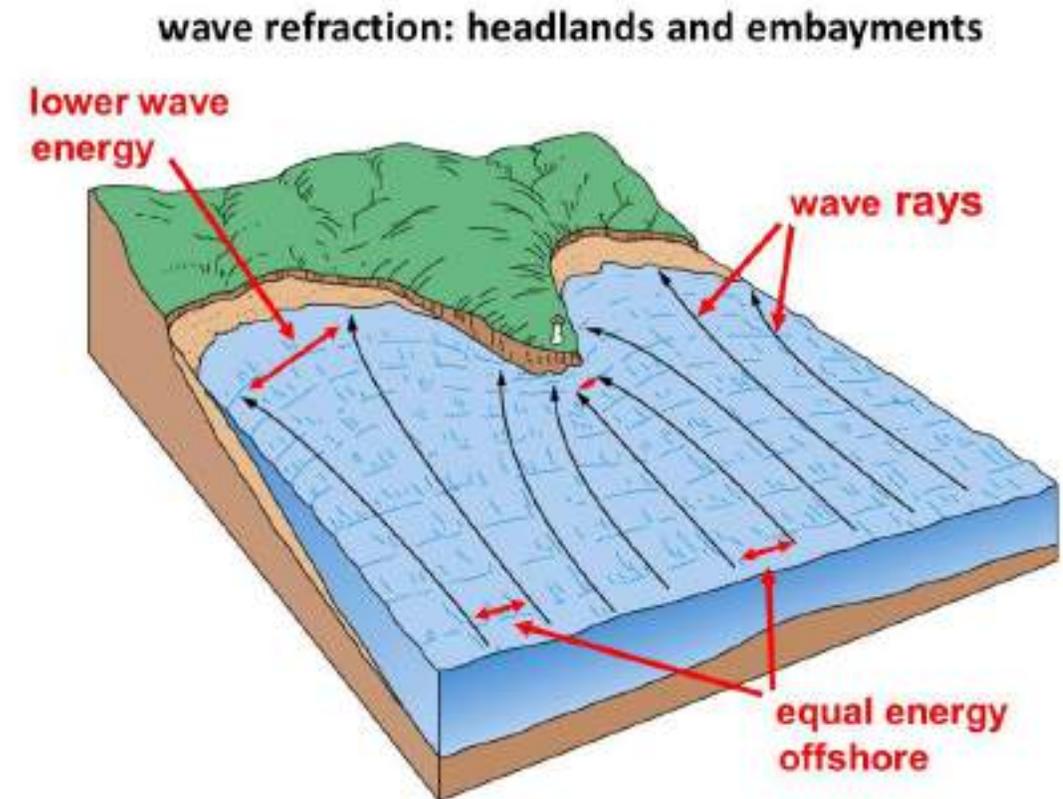


¿Cuáles son los procesos de transformación del oleaje durante la propagación hacia la costa?

- Refracción

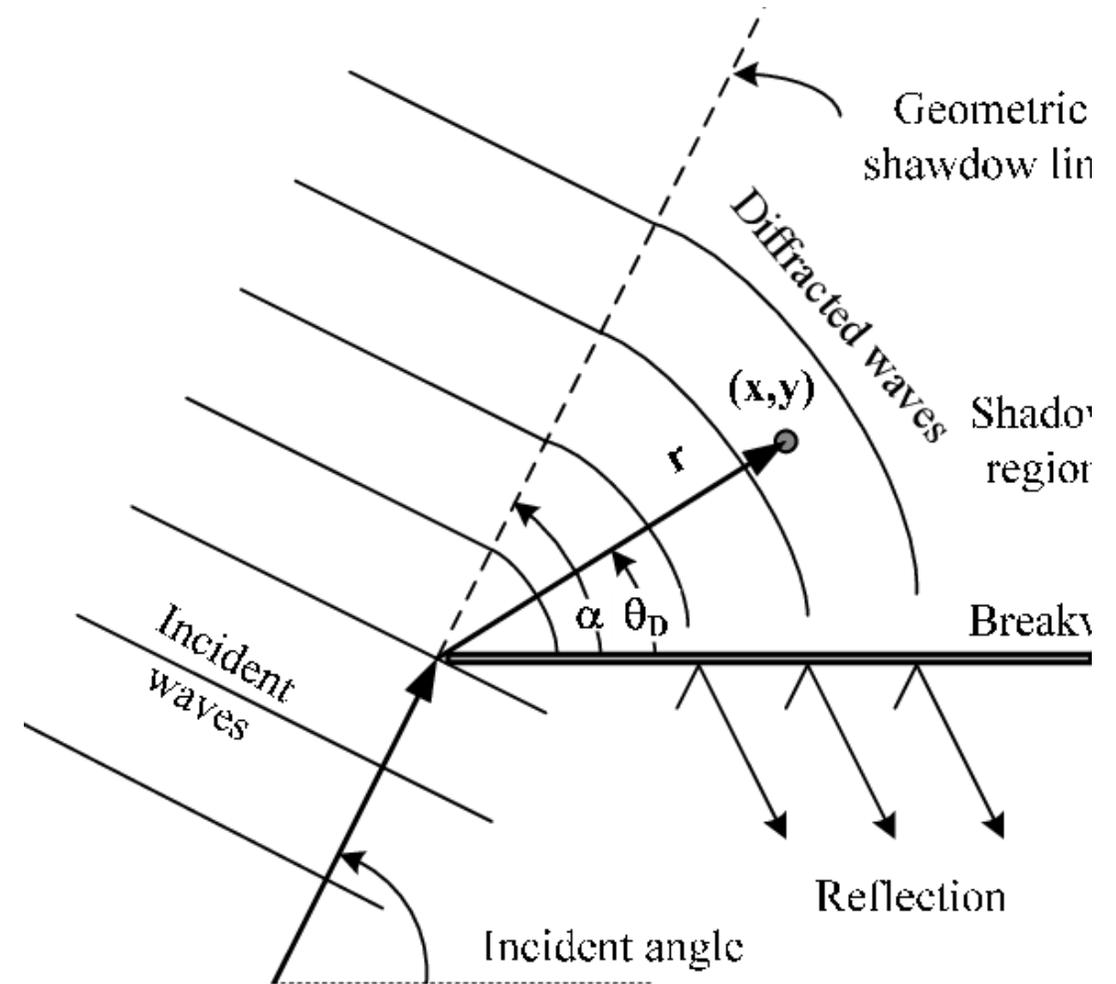
Cambio en la dirección de propagación del oleaje por efecto de las variaciones de profundidad.

Además de cambiar la dirección, cambia la altura de ola.



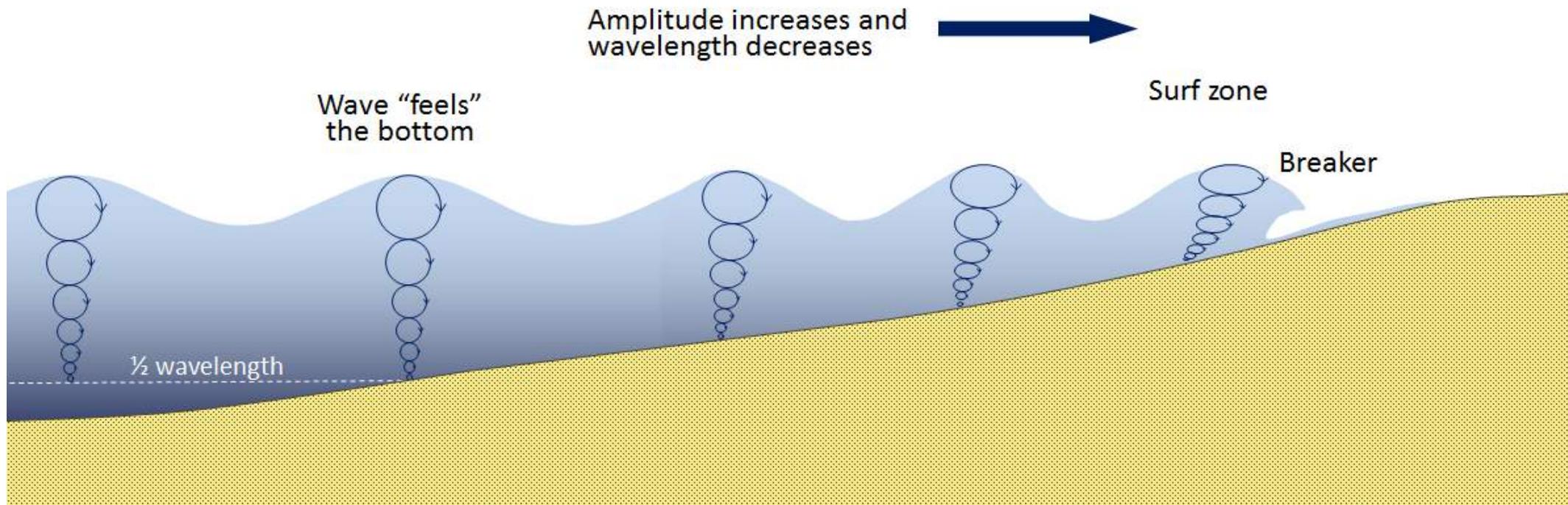
¿Cuáles son los procesos de transformación del oleaje durante la propagación hacia la costa?

- Reflexión y difracción



¿Cuáles son los procesos de transformación del oleaje durante la propagación hacia la costa?

- Rotura



¿Cuáles son los procesos de transformación del oleaje durante la propagación hacia la costa?

- Rotura

$$\xi = \tan \alpha / \sqrt{H/L_{\infty}}$$

spilling:

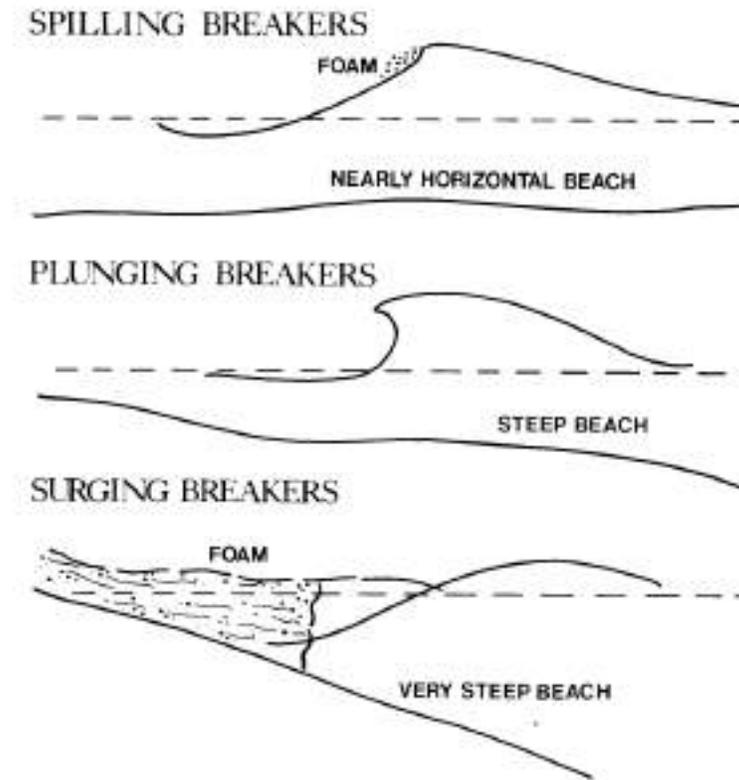
if $\xi_{\infty} < 0.5$

plunging:

if $0.5 < \xi_{\infty} < 3.3$

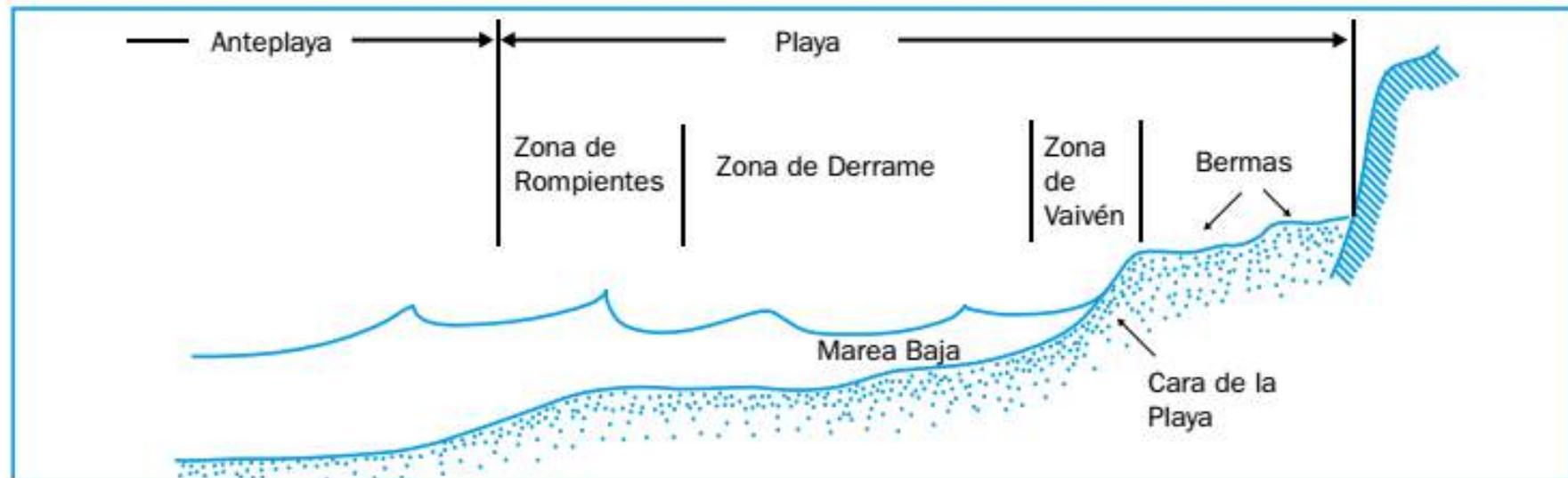
collapsing or surging:

if $\xi_{\infty} > 3.3$



- Dinámica de la zona de rompientes

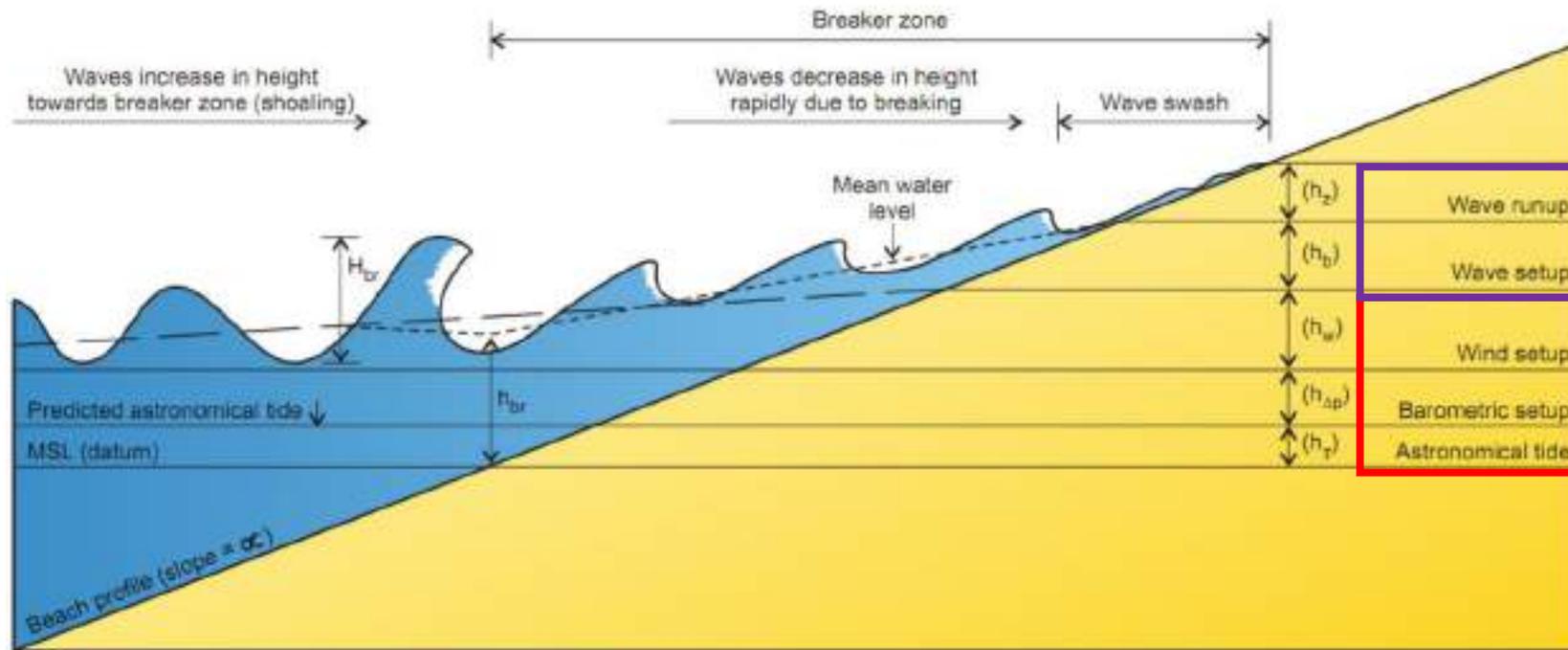
Figura 24. Esquema característico del perfil de una playa [esquema].



Fuente: Gutiérrez-Estrada y Montaña, Ley (1986).

Recuperado de: <http://biblioweb.tic.unam.mx/cienciasdelmar/instituto/1987-1/articulo258.html> .

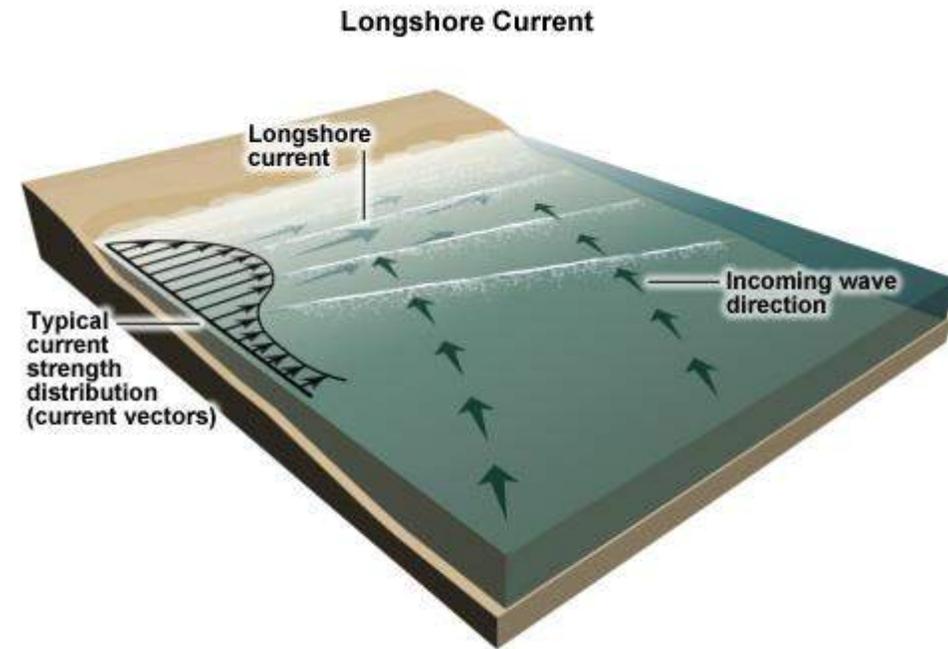
- Dinámica de la zona de rompientes
- Set-up, run-up y zona de swash



Efecto del oleaje

Marea
astronómica y
meteorológica

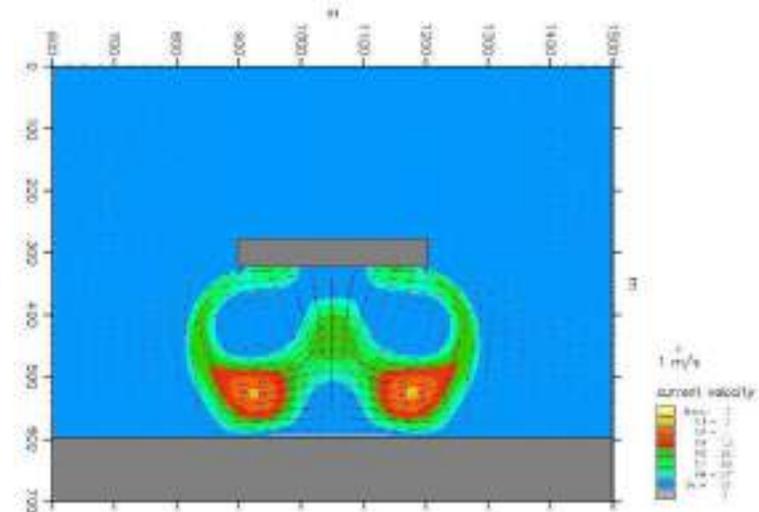
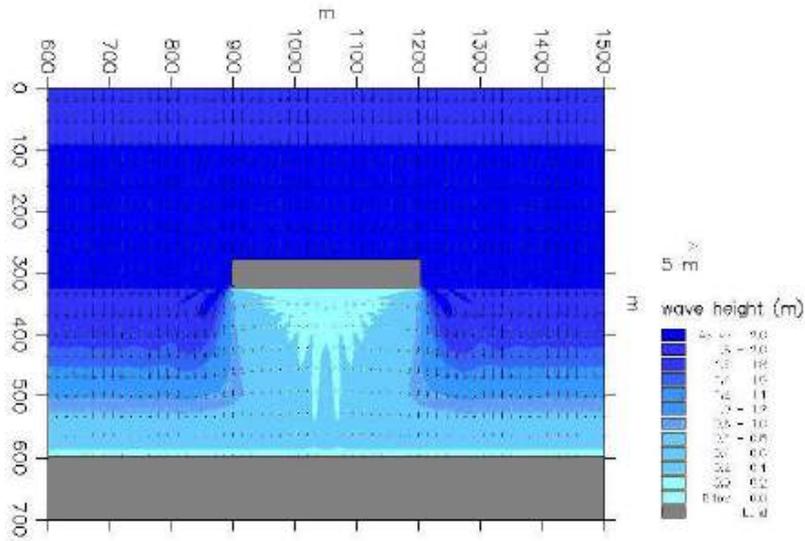
- Dinámica de la zona de rompientes
- ## Corriente litoral



©The COMET Program

- Dinámica de la zona de rompientes

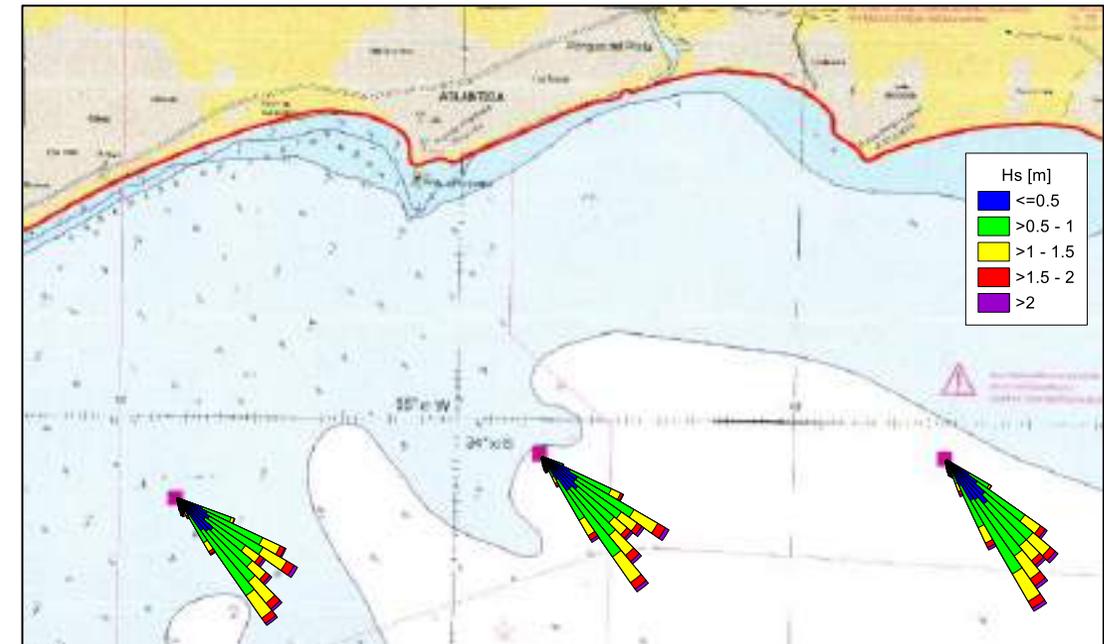
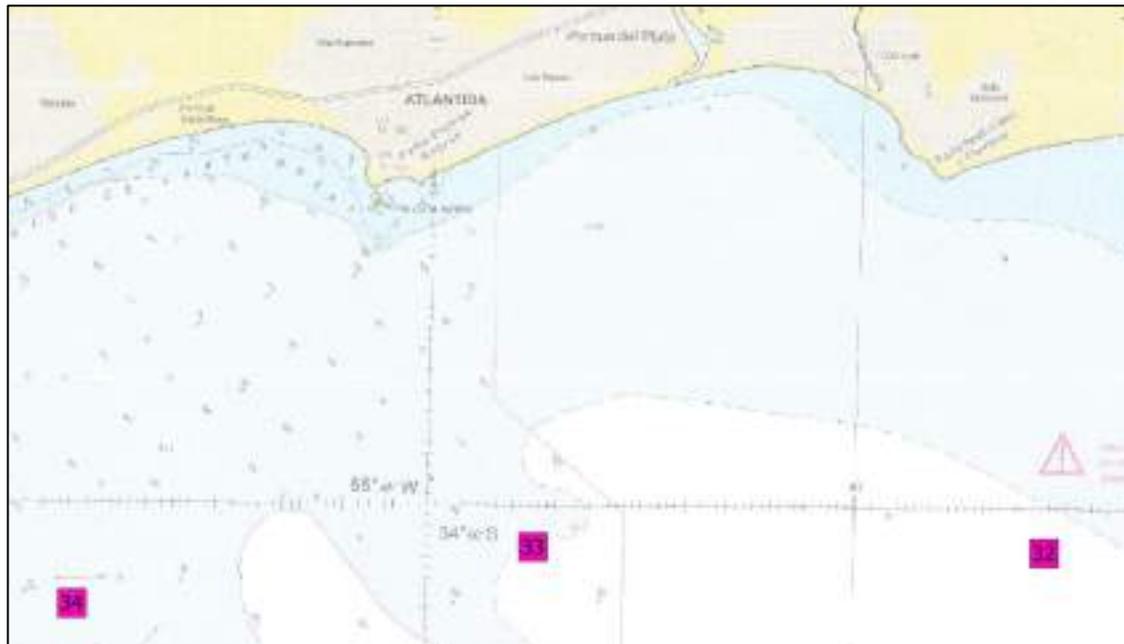
Corriente litoral



Modelos de propagación de oleaje

Se utilizan para llevar los datos de oleaje (altura, dirección y período) desde las boyas virtuales hasta el sitio.

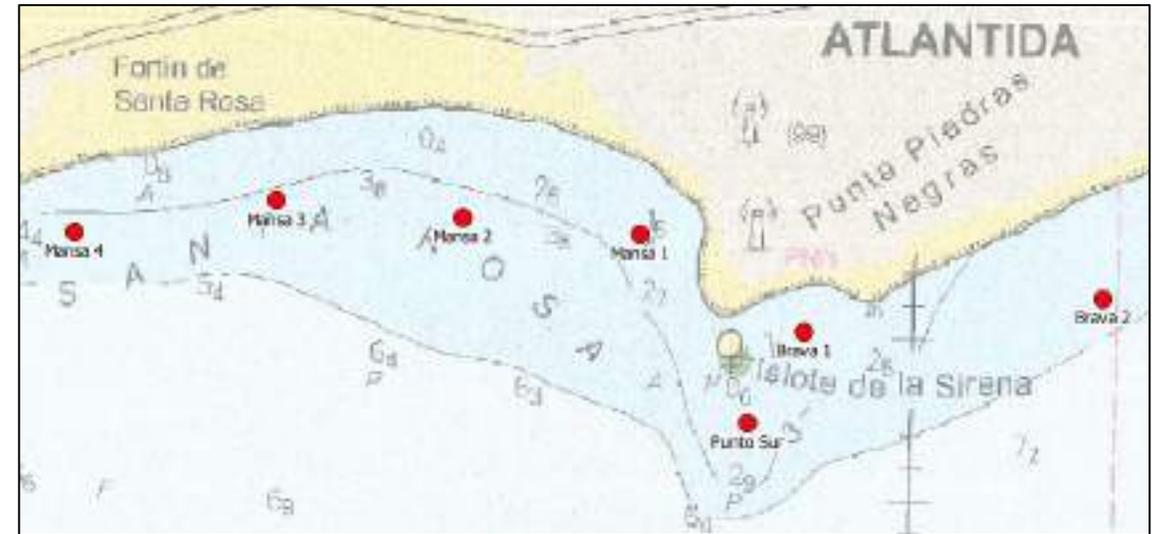
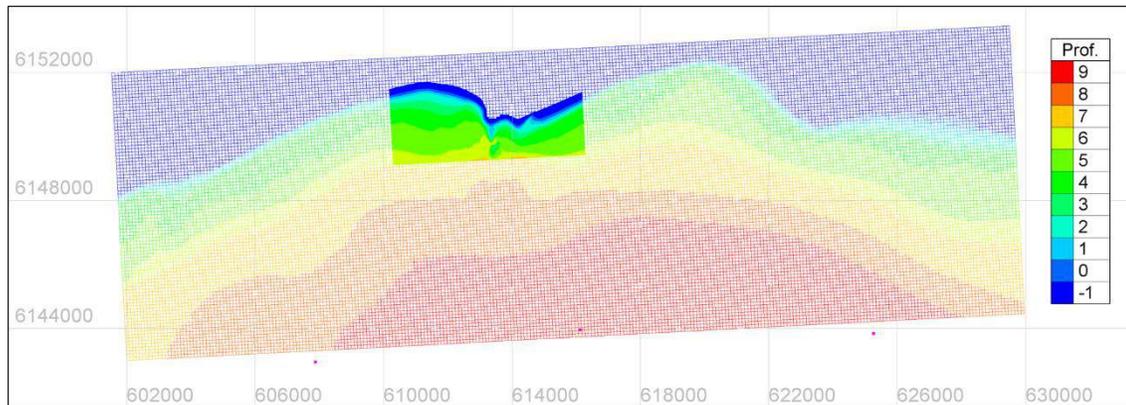
En función de las consecuencias del estudio puede ser necesario realizar medidas en sitio que permitan calibrar y validar el modelo.



Modelos de propagación de oleaje

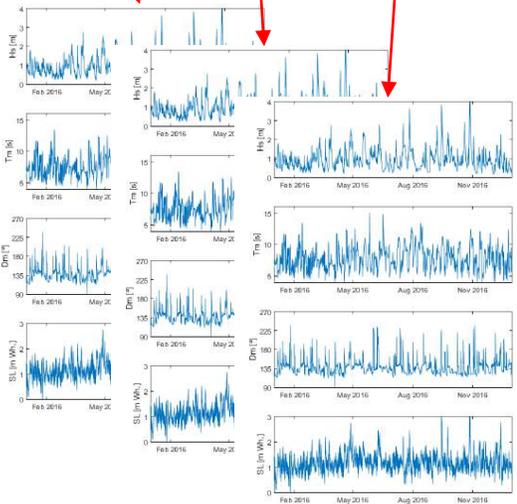
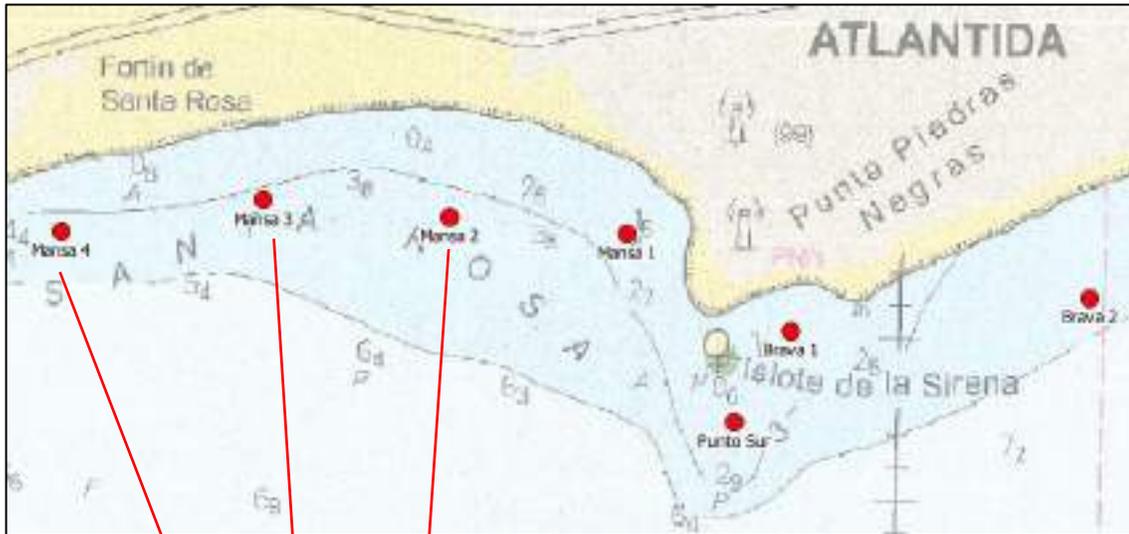
Se utilizan para llevar los datos de oleaje (altura, dirección y período) desde las boyas virtuales hasta el sitio.

En función de las consecuencias del estudio puede ser necesario realizar medidas en sitio que permitan calibrar y validar el modelo.





USO DE LA INFORMACION GENERADA: CALCULO DE AGENTES EN EL SITIO

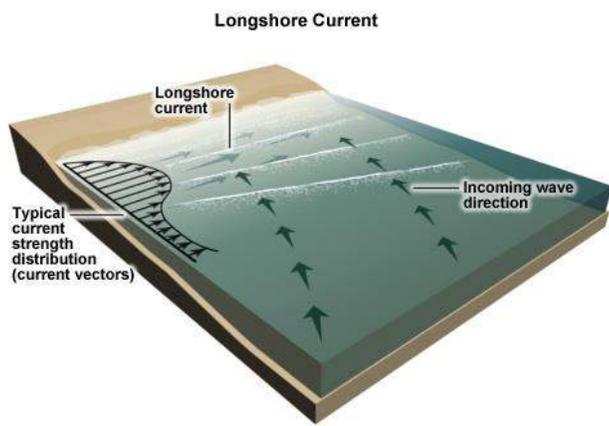


Hs-Dm	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
0-0.5	0.1%	0.2%	0.1%	0.4%	2.7%	8.9%	16.1%	5.5%	1.0%	0.1%	0.4%	0.2%	0.1%	0.2%	0.1%	0.1%	36%
0.5-1	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	1.5%	7.7%	17.1%	9.4%	2.4%	1.2%	0.8%	0.7%	0.3%	0.3%	0.2%	0.2%	42%
1-1.5					0.1%	1.4%	5.2%	3.9%	2.4%	1.8%	1.1%						16%
1.5-2						0.2%	0.8%	1.2%	1.4%	0.6%	0.1%						4%
2-2.5							0.1%	0.3%	0.5%	0.3%							1%
2.5-3									0.2%	0.1%							0%
3-3.5																	
3.5-4																	
Total	0%	0%	0%	0%	4%	18%	39%	20%	8%	4%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	100%

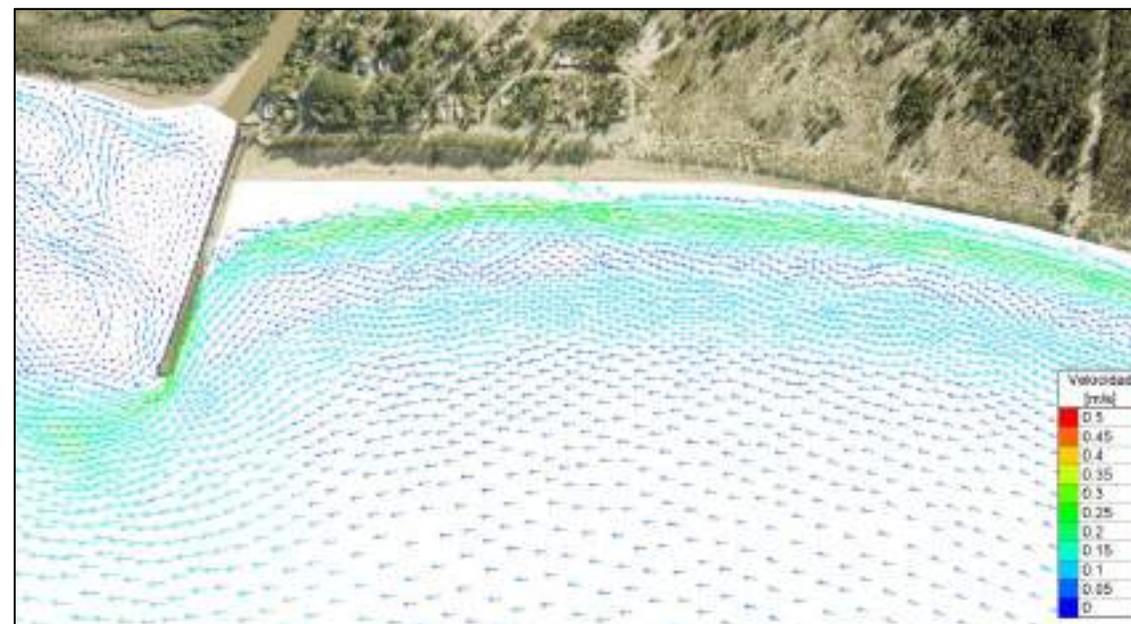
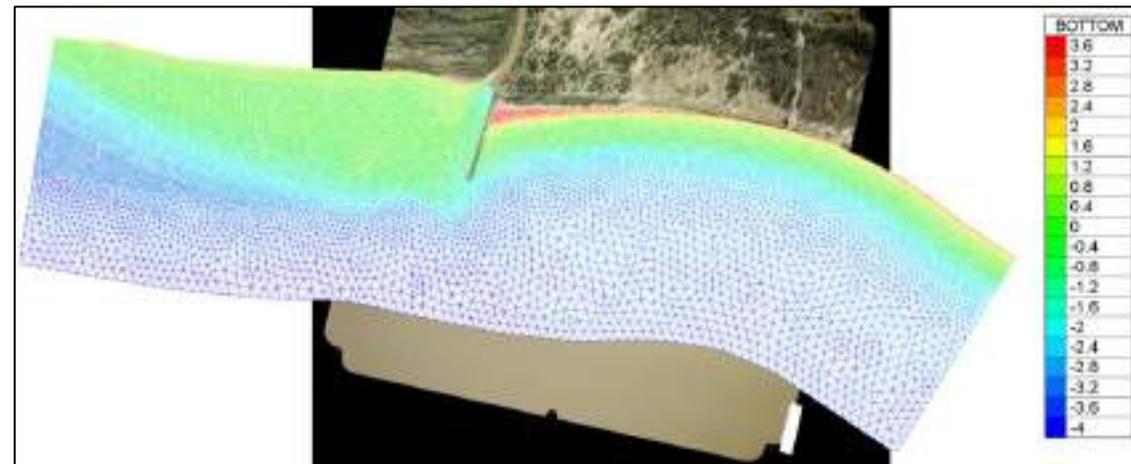
Hs-Tm	2	4	6	8	10	12	14	Total
0-0.5	2.1%	18.0%	11.2%	3.9%	0.9%	0.1%	0.1%	36%
0.5-1	2.0%	27.2%	10.3%	2.3%	0.3%	0.1%		42%
1-1.5		11.5%	3.9%	0.4%	0.1%			16%
1.5-2		1.3%	3.1%					4%
2-2.5		0.1%	1.2%					1%
2.5-3			0.2%					0%
3-3.5								
3.5-4								
Total	4%	58%	30%	7%	1%	0%	0%	100%

Tp-Dp	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total
2	0.1%	0.3%	0.2%	0.1%	0.4%	0.7%	1.2%	0.6%	0.1%		0.1%		0.1%	0.3%		0.1%	4%
4	0.1%	0.1%	0.2%	0.1%	1.6%	8.9%	21.2%	13.1%	5.4%	3.2%	2.4%	0.9%	0.2%	0.2%	0.2%	0.2%	58%
6				0.1%	1.3%	6.2%	13.7%	5.4%	2.3%	0.7%			0.1%				30%
8				0.1%	0.8%	1.9%	2.7%	0.9%	0.2%								7%
10				0.1%	0.2%	0.3%	0.4%	0.2%	0.1%								1%
12						0.1%											0%
14					0.1%			0.1%									0%
Total	0%	0%	0%	0%	4%	18%	39%	20%	8%	4%	2%	1%	0%	0%	0%	0%	100%

Modelos acoplados oleaje-corrientes



©The COMET Program



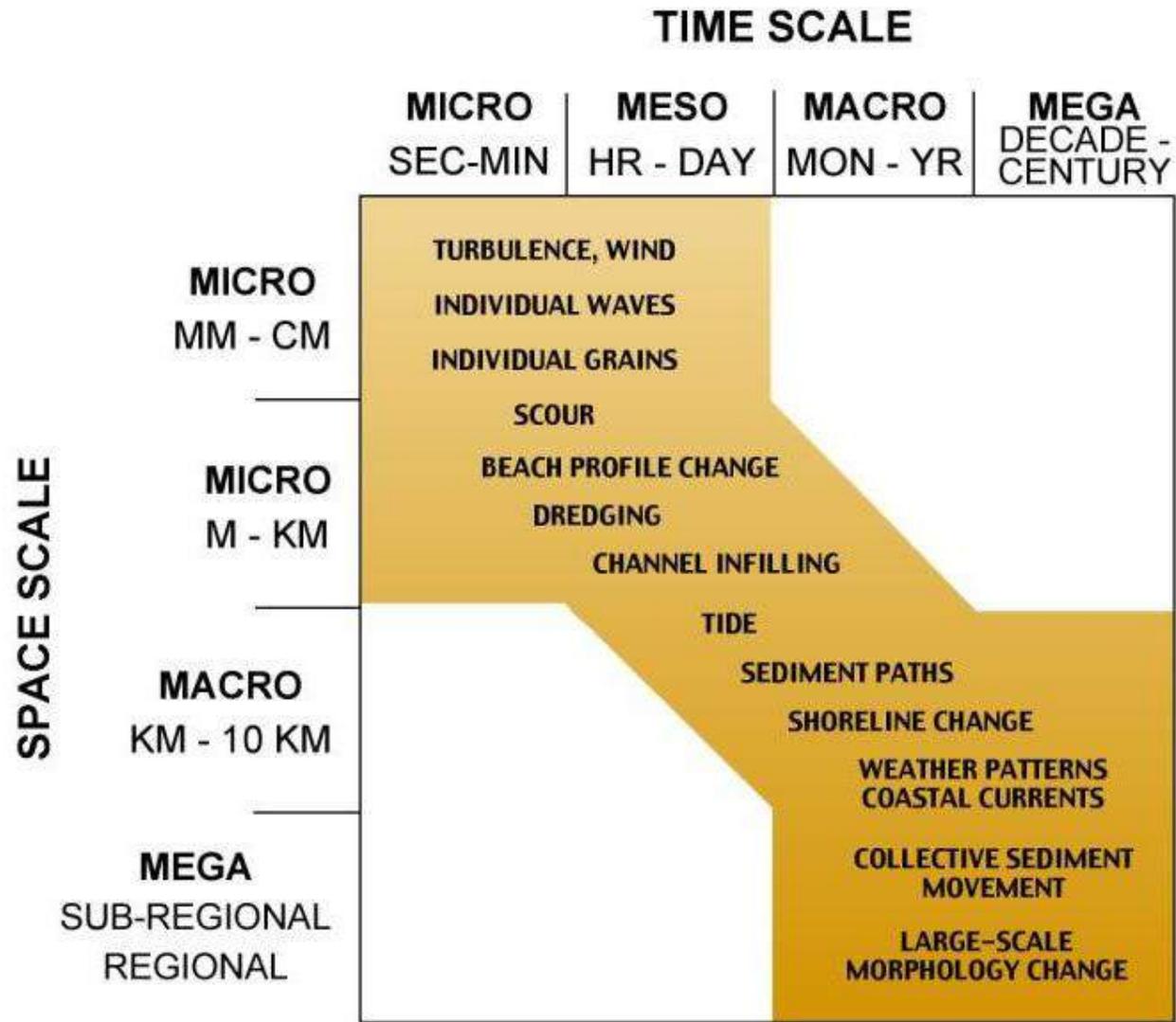
Caracterización de los agentes en el sitio.



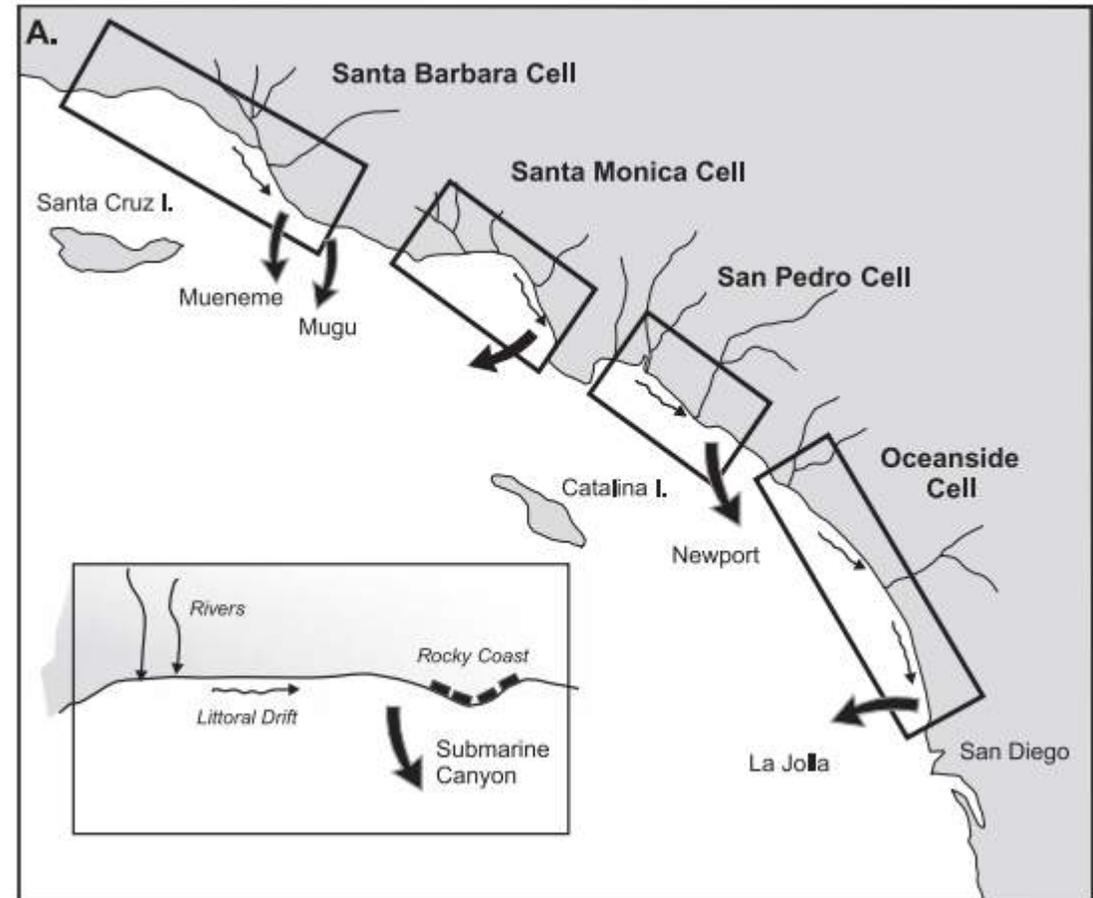
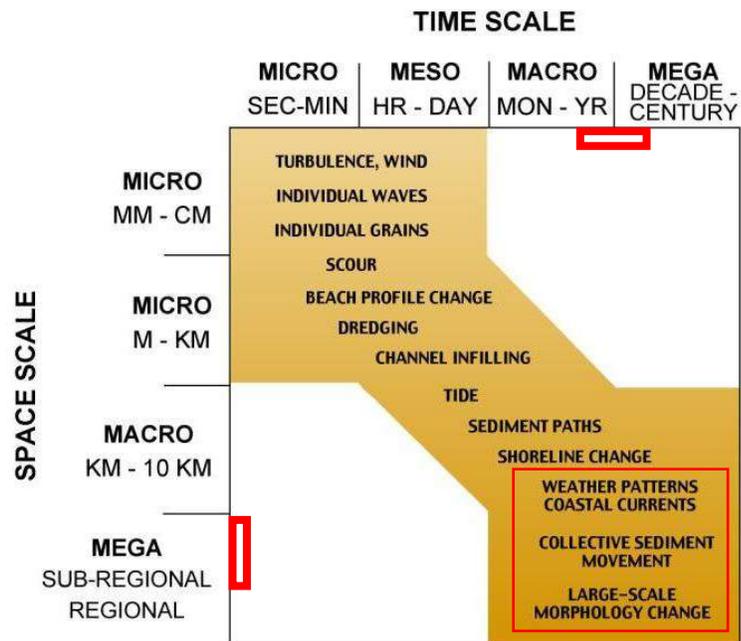
Información de entrada para la caracterización de la dinámica de playa.



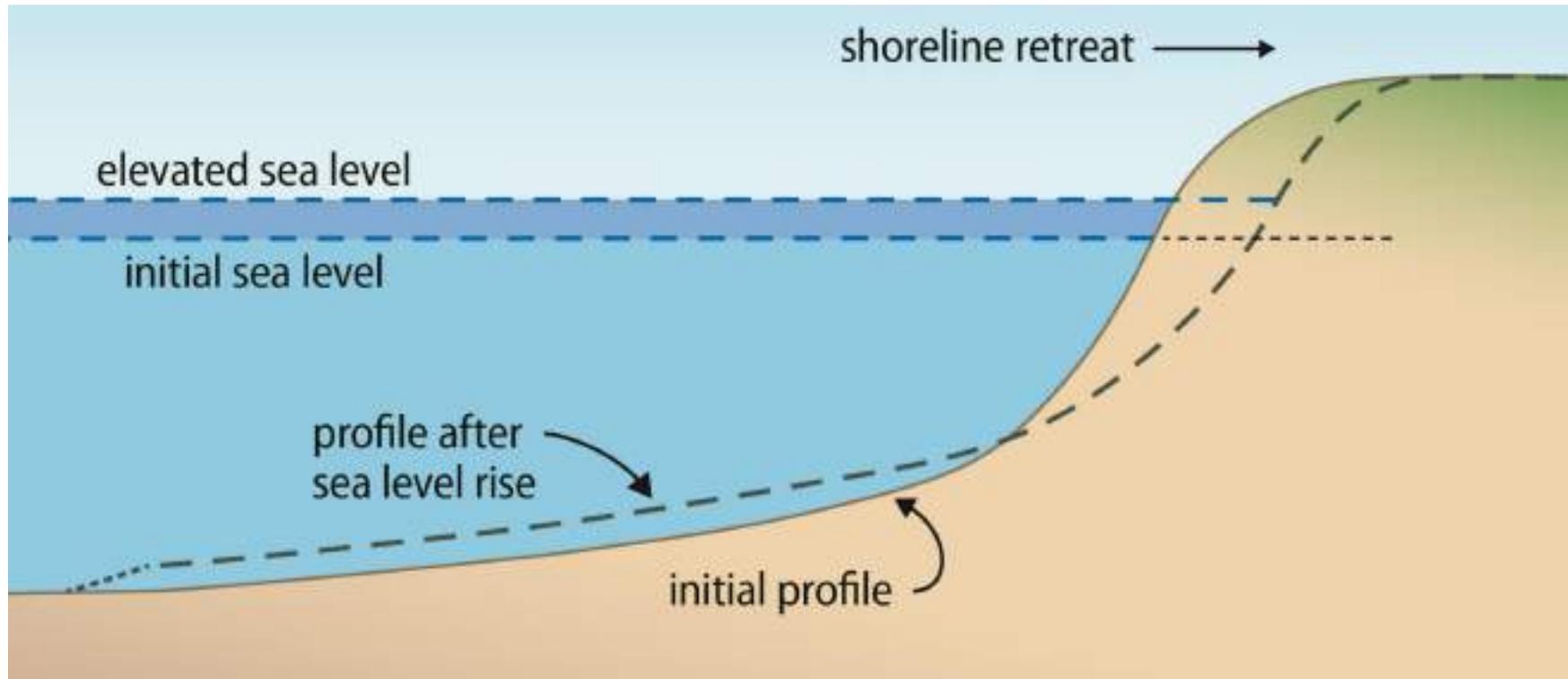
USO DE LA INFORMACION GENERADA: REPASO DE DINAMICA DE PLAYAS



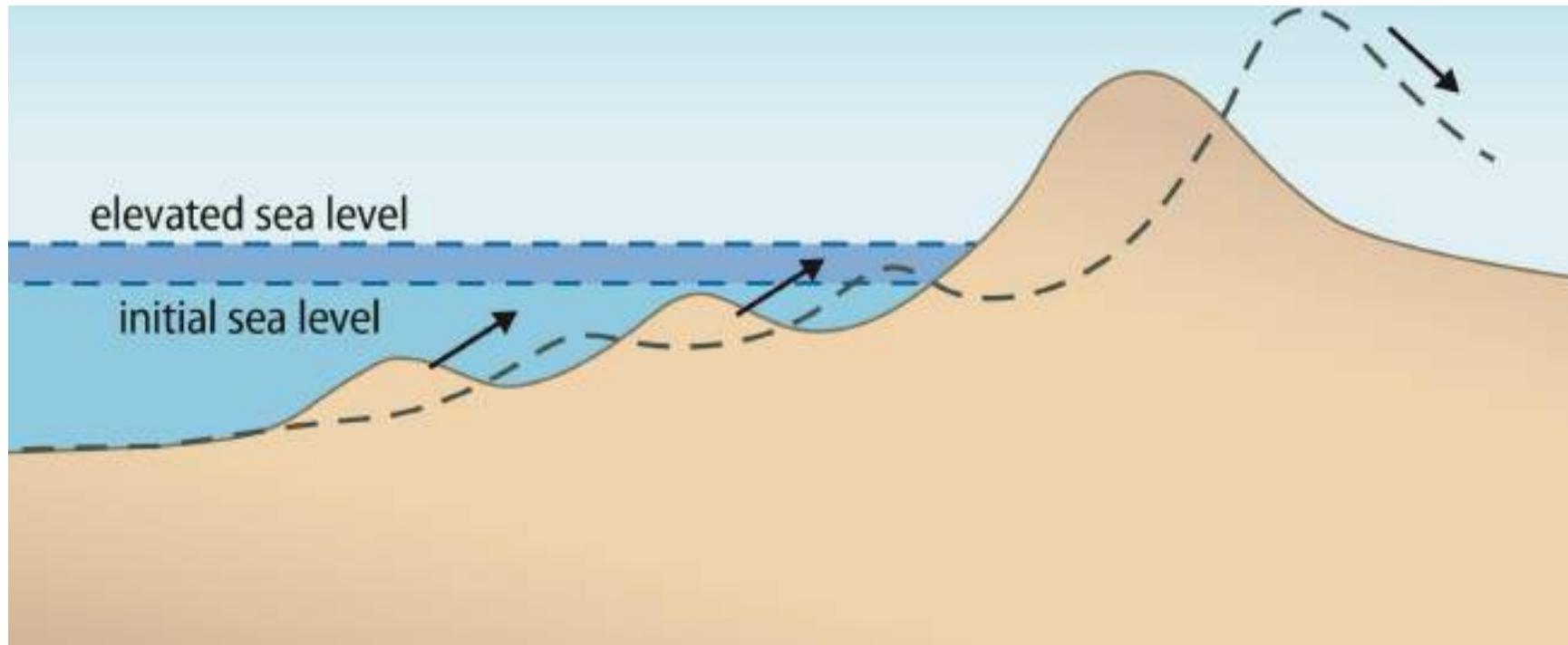
- Gran escala: celdas litorales



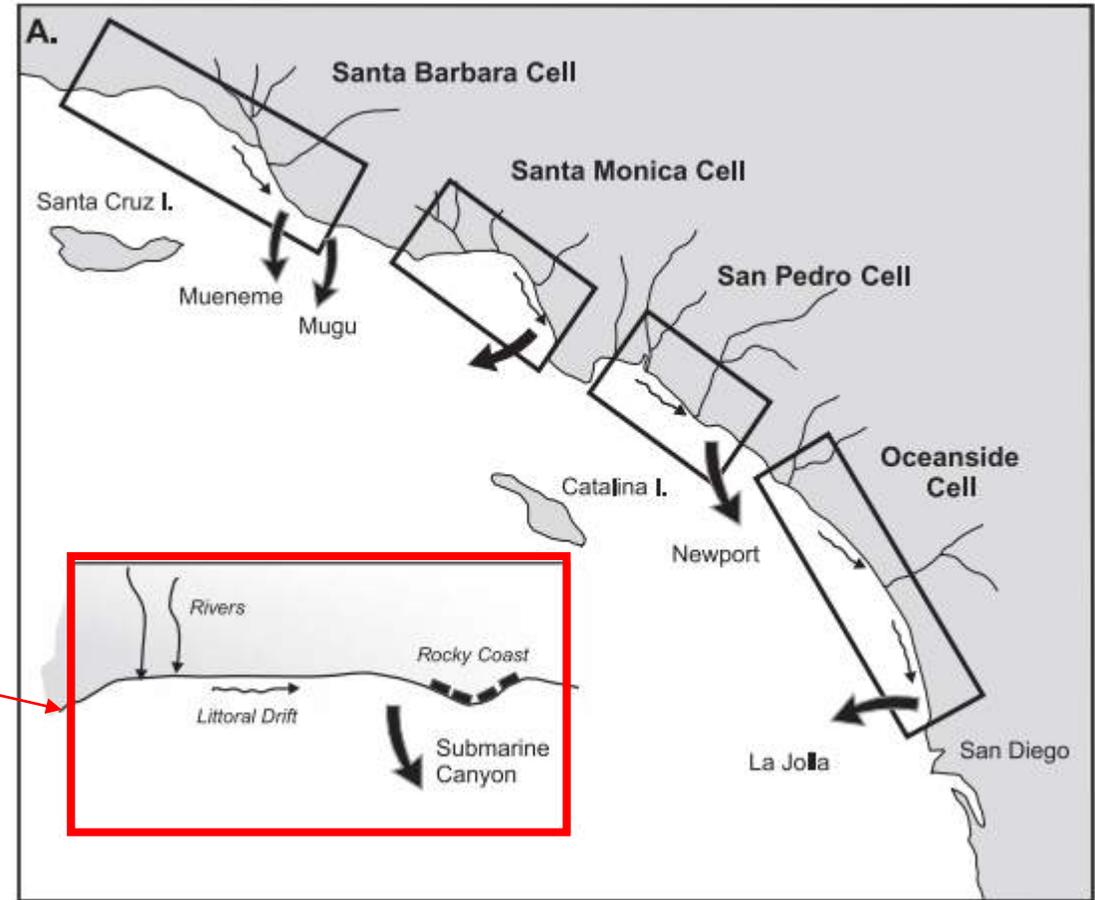
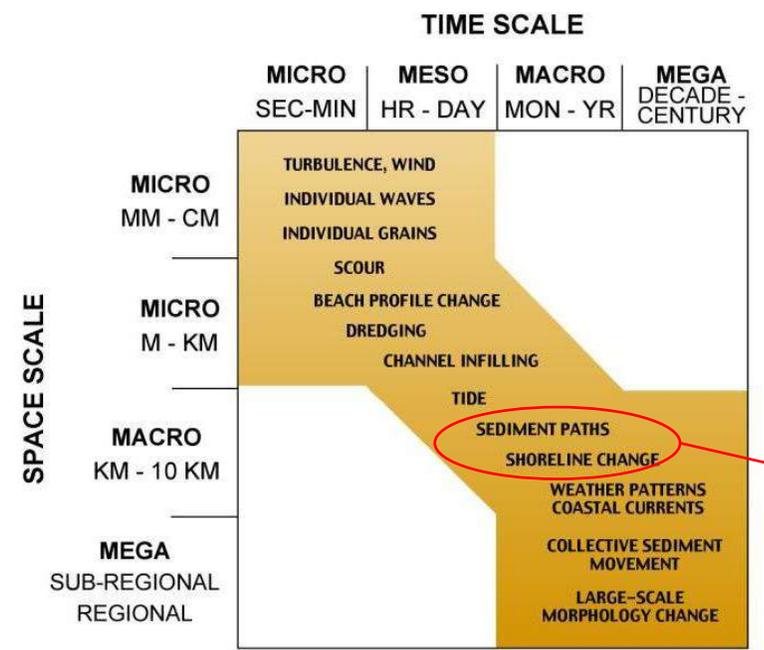
- Gran escala: perfil de equilibrio a largo plazo



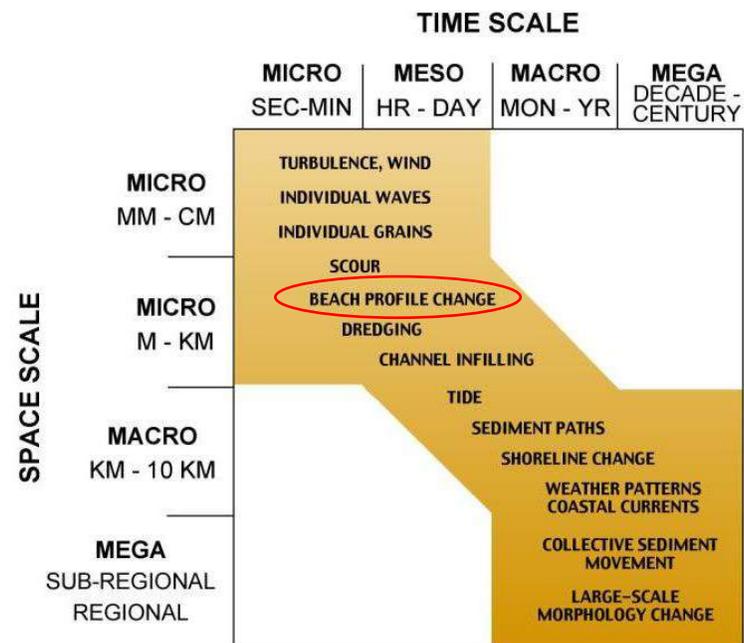
- Gran escala: perfil de equilibrio a largo plazo



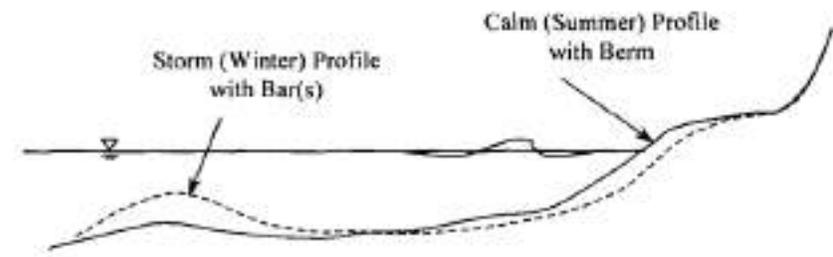
- Escala “macro”:



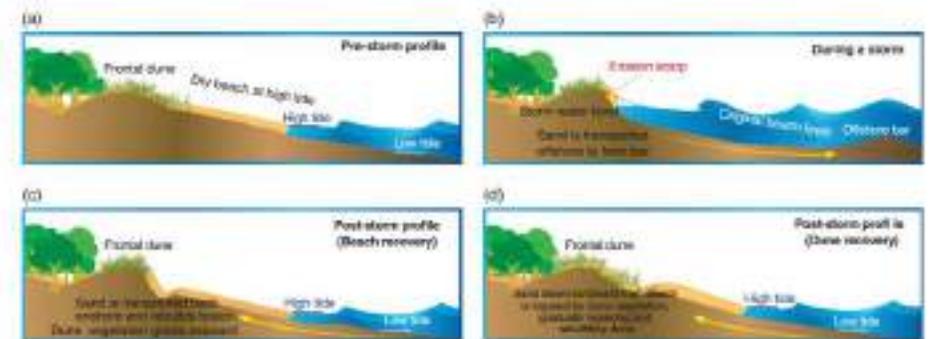
- Escala “meso” y “micro”:
Perfil de playa



(a) Ciclo anual

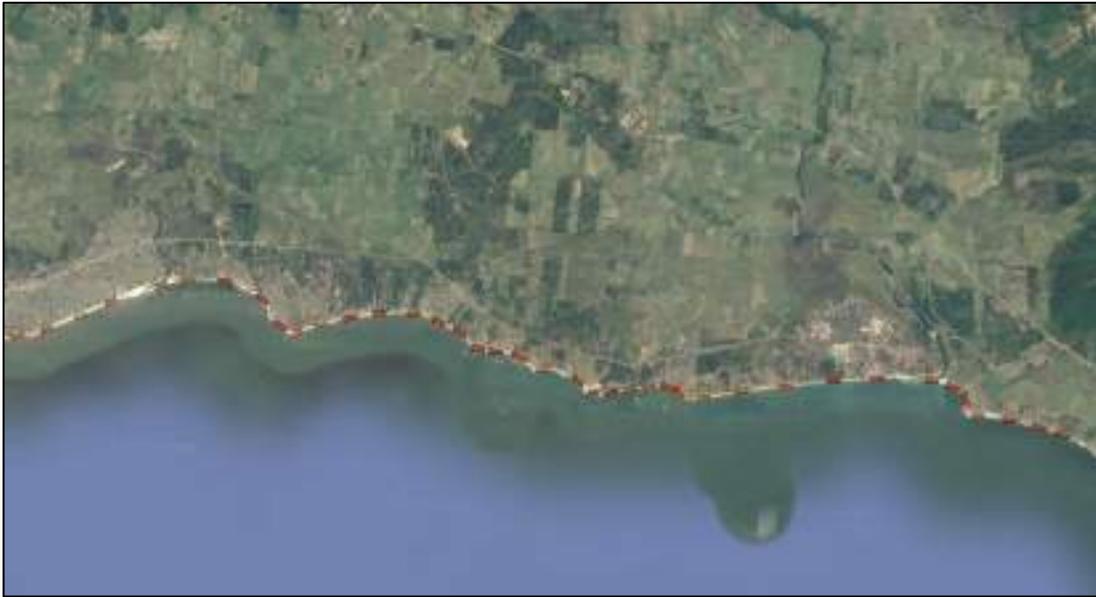


(b) Respuesta a eventos



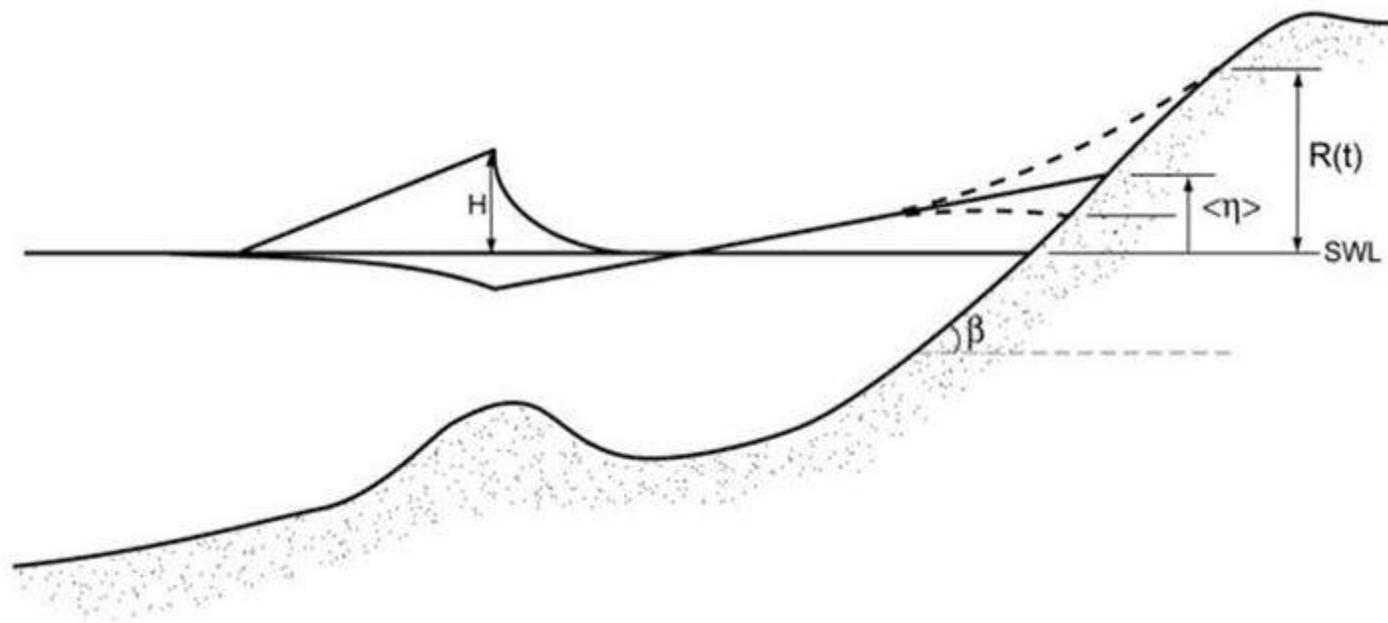
Análisis de procesos: modelos simplificados.

e.g.: transporte litoral en función de las características del oleaje en la rompiente



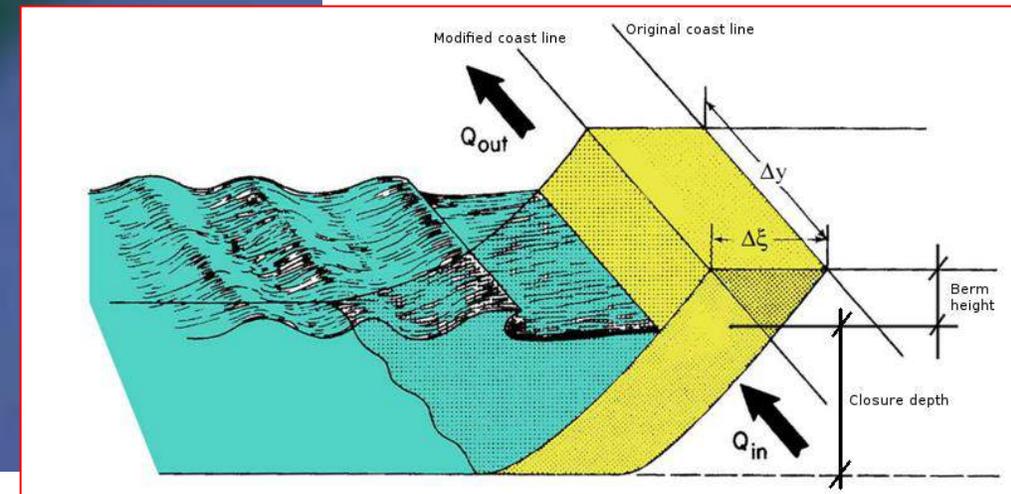
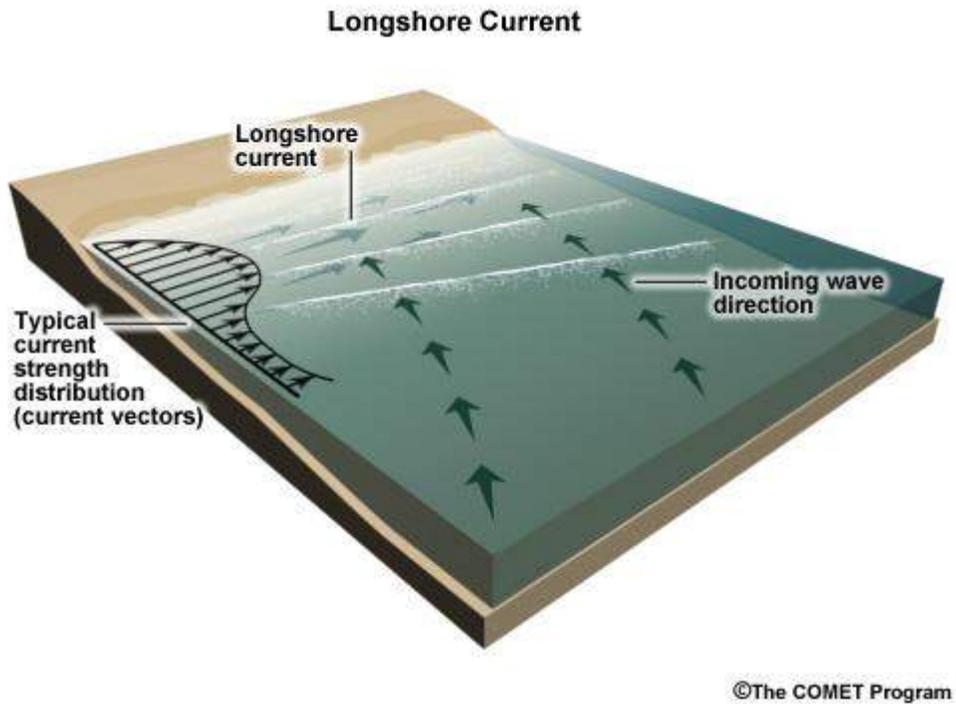
Análisis de procesos: modelos simplificados.

e.g.: set-up en playas (cota de inundación)



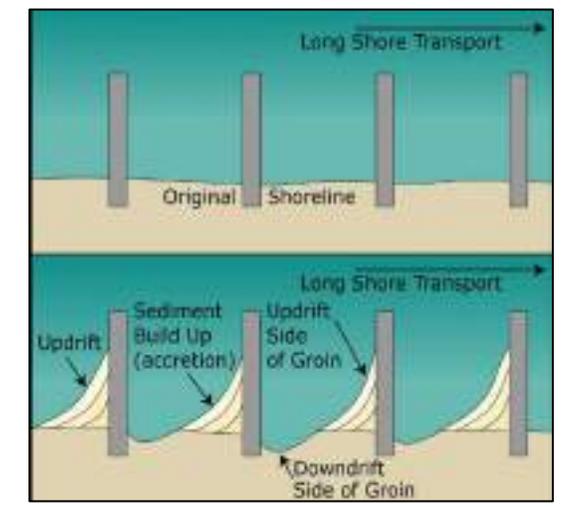
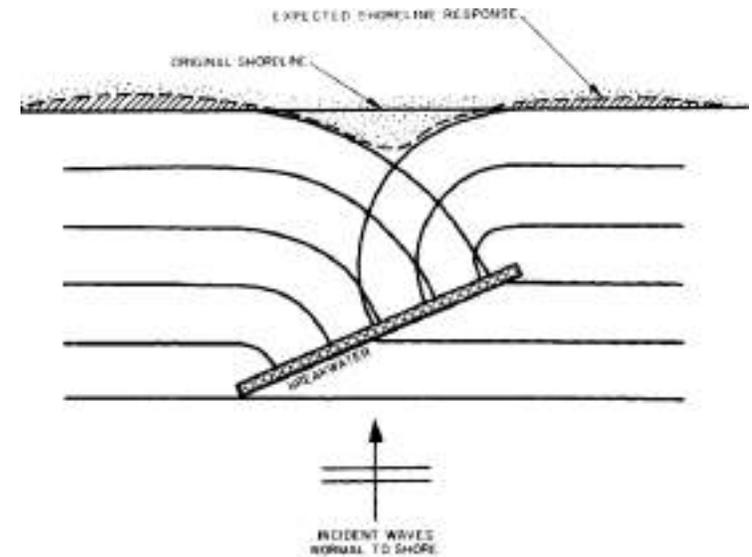
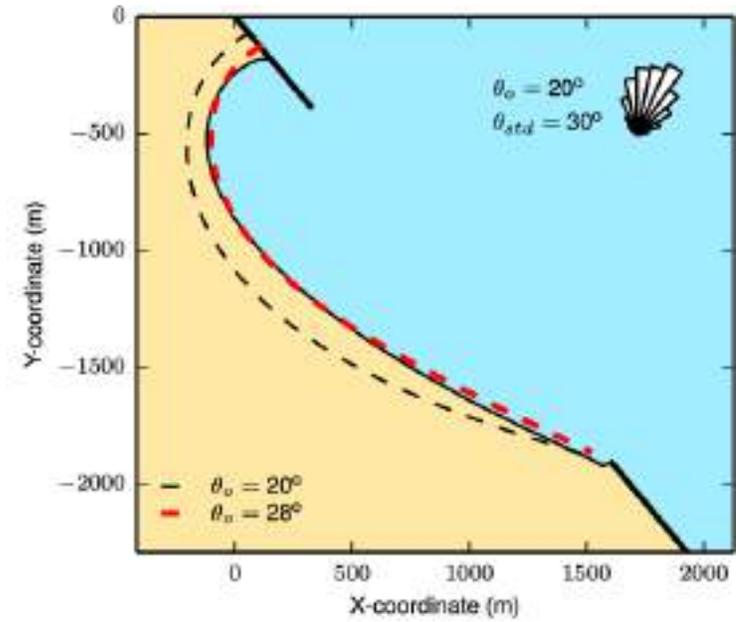
Análisis de procesos: modelos numéricos.

Modelos de una línea (escala macro)



Análisis de procesos: modelos numéricos.

Modelos de una línea (escala macro)



Análisis de procesos: modelos numéricos.
Modelos de una línea (escala macro)

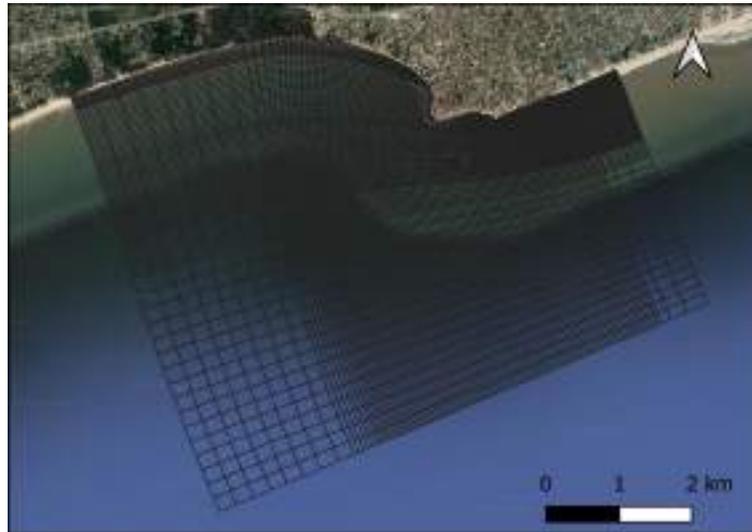


Análisis de procesos: modelos numéricos.
Modelos de una línea (escala macro)

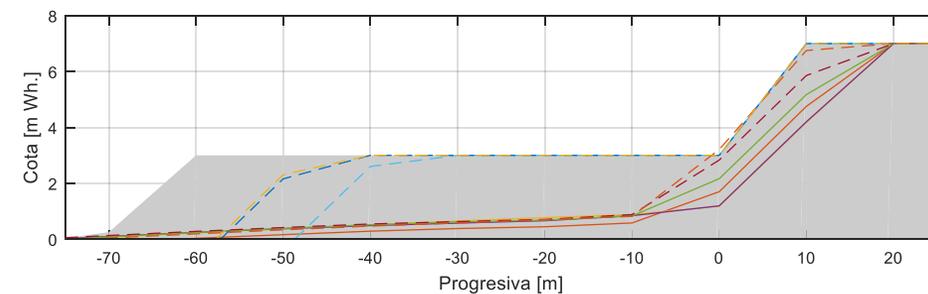
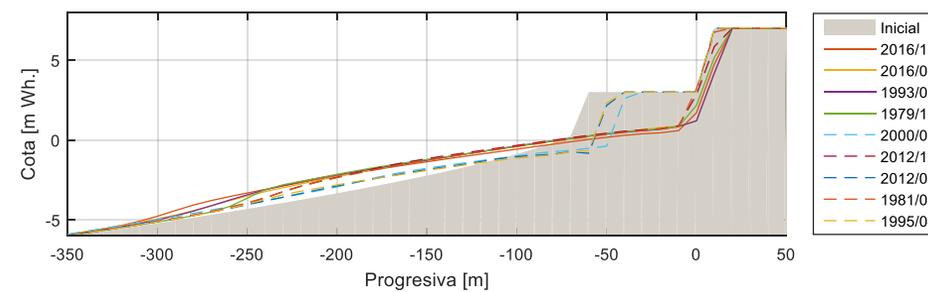
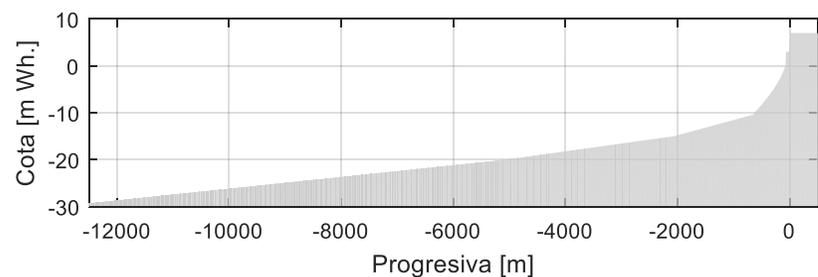
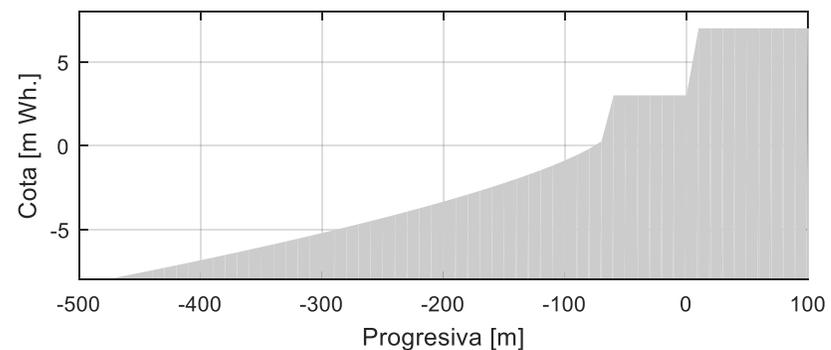


Análisis de procesos: modelos numéricos.

Modelos 2D (escala “meso”)



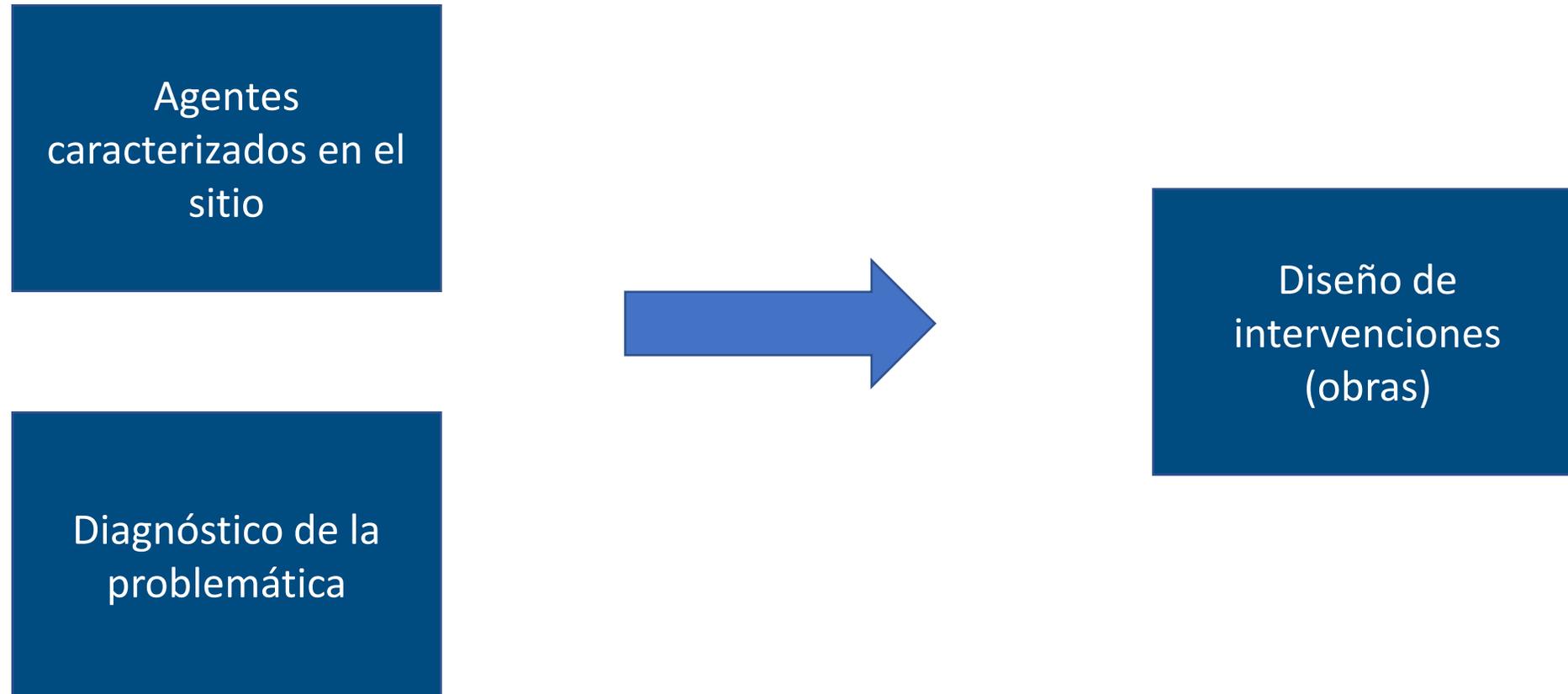
Análisis de procesos: modelos numéricos.
Modelos 2DV (escala “meso”)



La información generada provee información fundamental, pero no es suficiente.

Otros elementos fundamentales en la realización de un diagnóstico adecuado son:

- Características geológicas de la zona
- Características de los sedimentos
- Batimetrías
- Información histórica de erosión/acreción (fotos aéreas y satelitales), cotas de inundación, daños, etc.



- Funcionalidad:

- Protección frente a amenazas (e.g. erosión o inundación).
- Sanitarias (o industriales): tomas y emisarios subacuáticos.
- Telecomunicaciones: cables subacuáticos.
- Industriales/comerciales: puertos.
- Recreativas: playas, puertos deportivos.
- Otros: conservación de ecosistemas, etc.

- Fiabilidad:

La intervención tendrá un comportamiento estructural “adecuado” durante su vida útil (sujeto a los mantenimientos previstos).

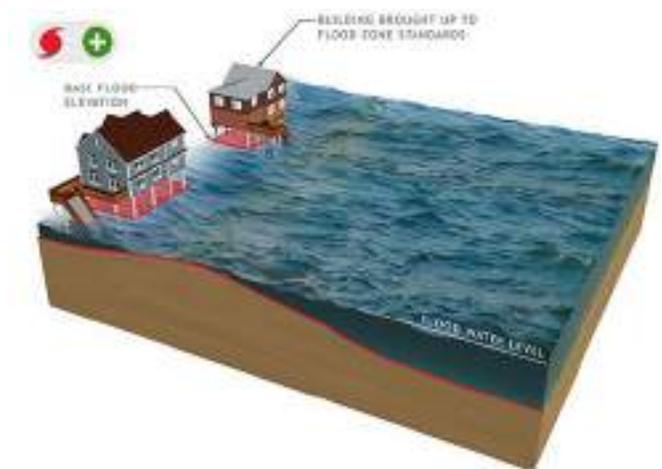
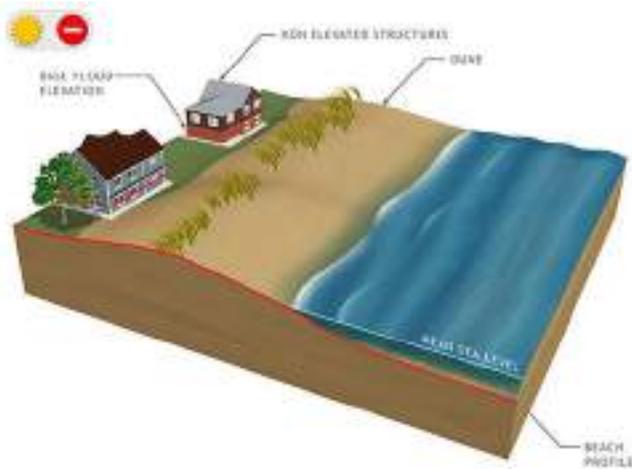
Protección costera: medidas no estructurales

- Alerta temprana



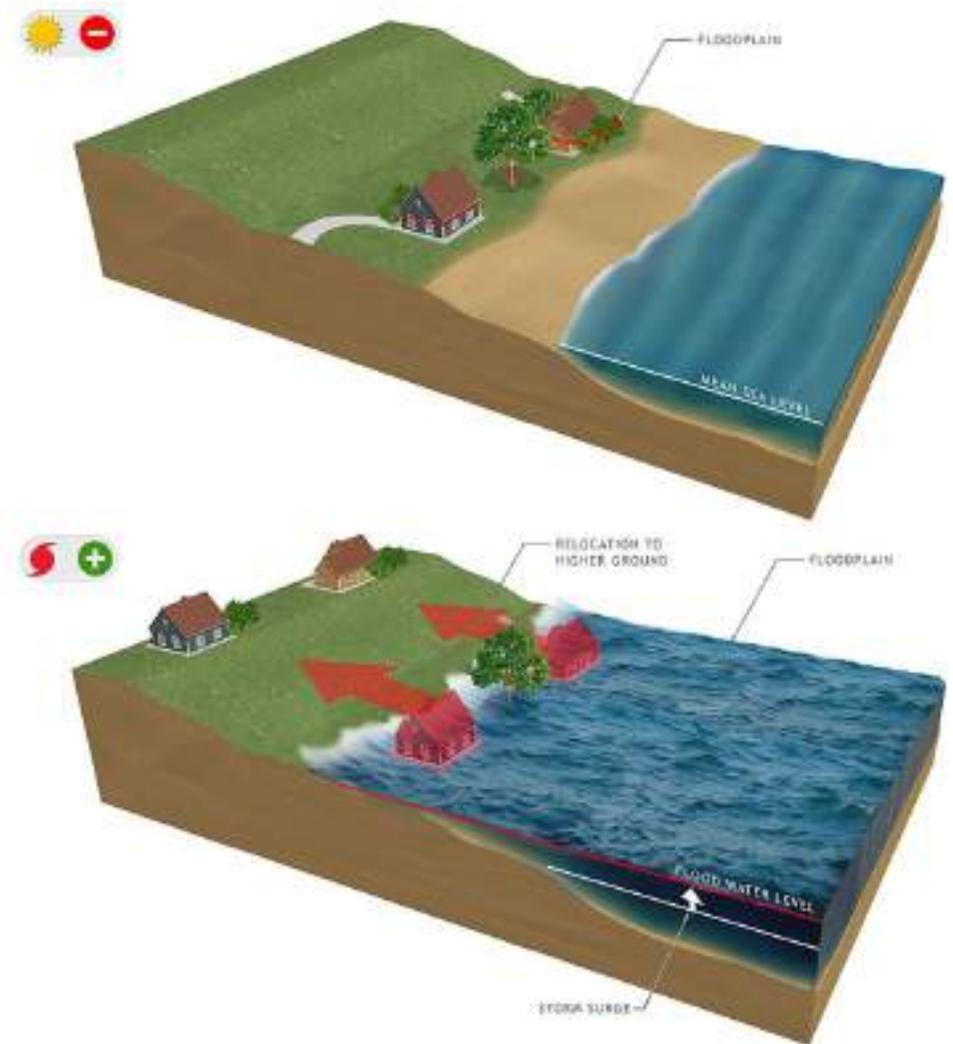
Protección costera: medidas no estructurales

- Alerta temprana
- Adecuación de bienes e infraestructuras



Protección costera: medidas no estructurales

- Alerta temprana
- Adecuación de bienes e infraestructuras
- Retiro de bienes e infraestructuras



Protección costera: medidas estructurales/naturales

Naturales, verdes, basadas en la naturaleza, basadas en ecosistemas, blandas

Híbridas

Grises, duras



Menor inversión

Requieren más espacio/tiempo

Mayor incertidumbre en cuanto a desempeño

Mayor capacidad de adaptación

Soporta condiciones menos severas

Mayor inversión

Requieren menos espacio/tiempo

Menor incertidumbre en cuanto a desempeño

Menor capacidad de adaptación

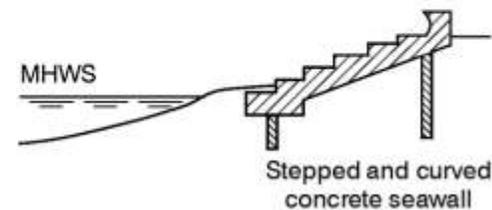
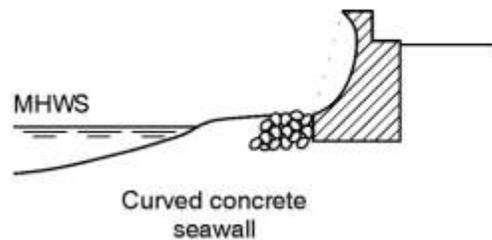
Soporta condiciones más severas

Protección costera (erosión): tipos de obras



Muros costeros:

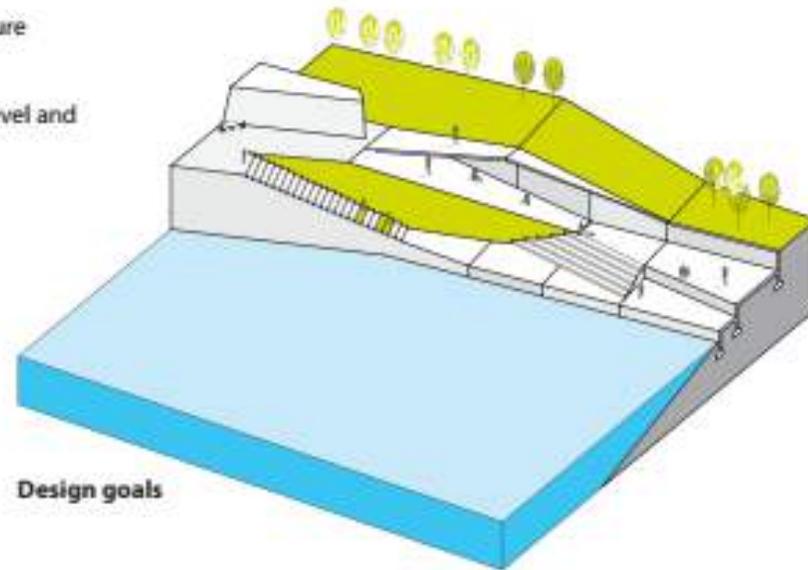
Es una estructura que separa el mar de la tierra, diseñada para soportar la acción del oleaje con distintos niveles de mar, previniendo el retroceso de la línea de costa y/o inundaciones.



Muros costeros:

DESIGN GOALS

- Activate edges of engineered infrastructure
- Maintain views toward water
- Create connections between the shore level and the higher top of the seawall



Muros costeros:

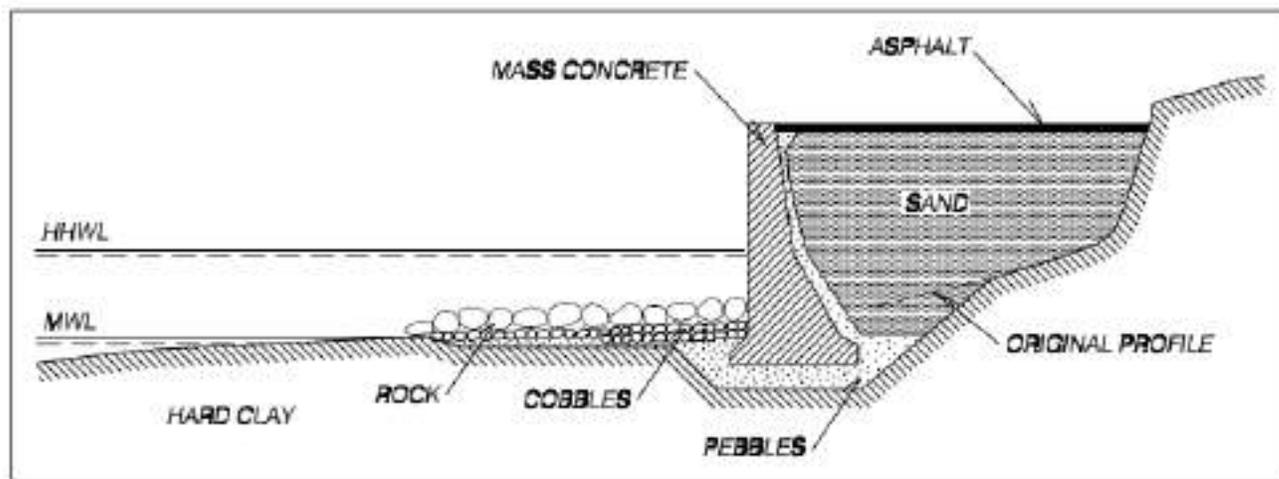
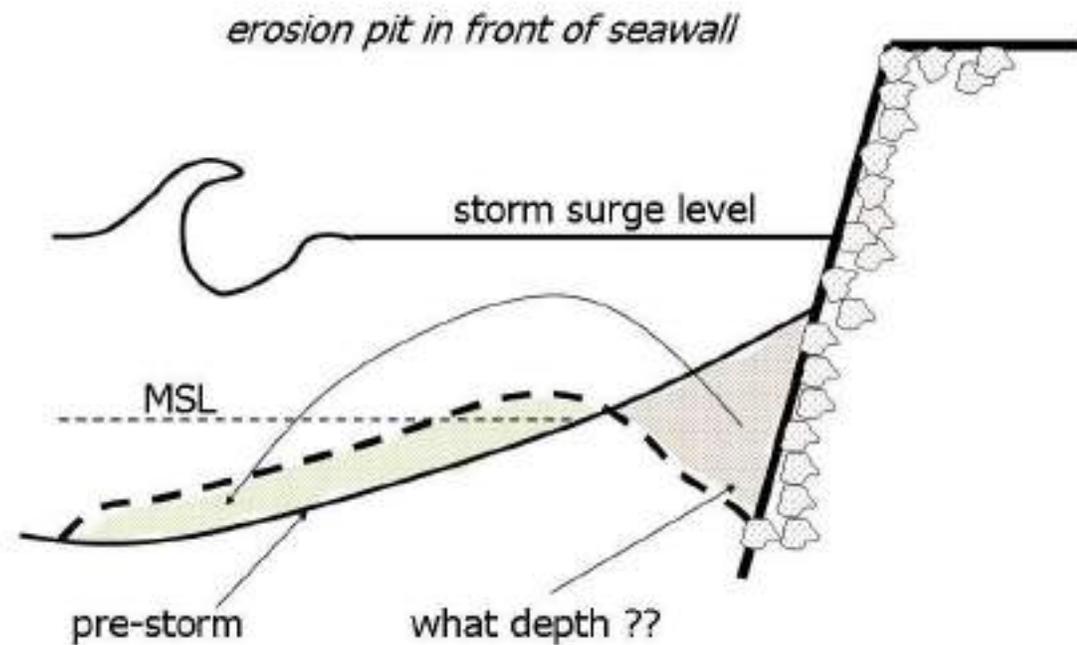


Figure VI-2-7. Example of a vertical front seawall

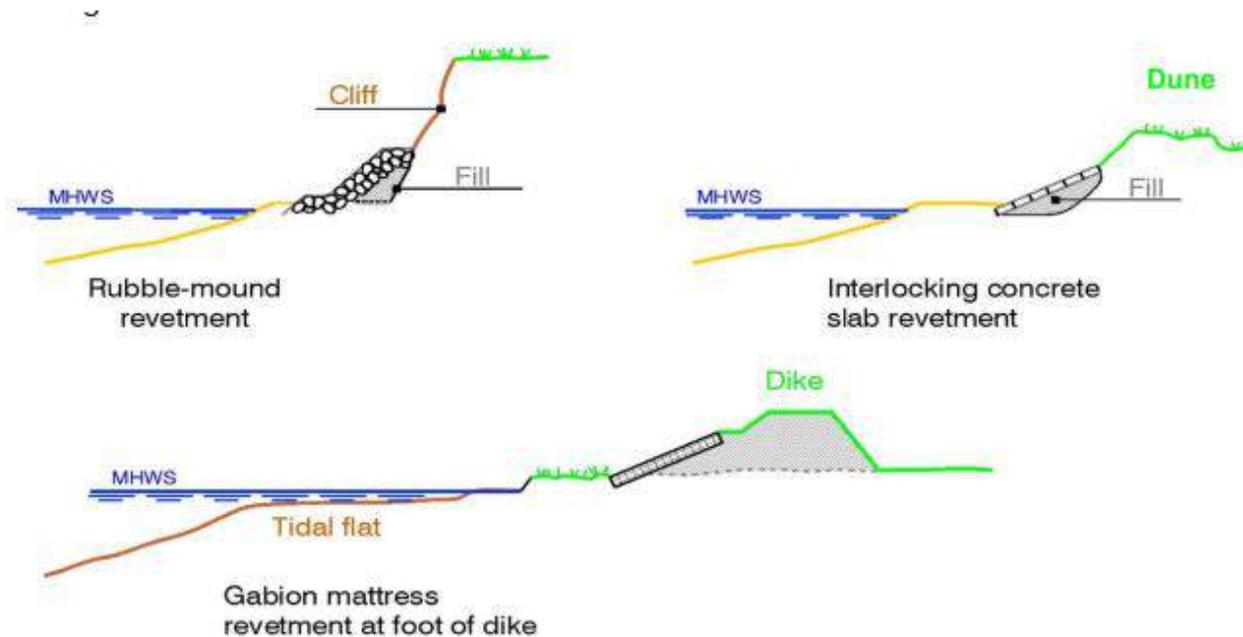


Protección costera (erosión): tipos de obras

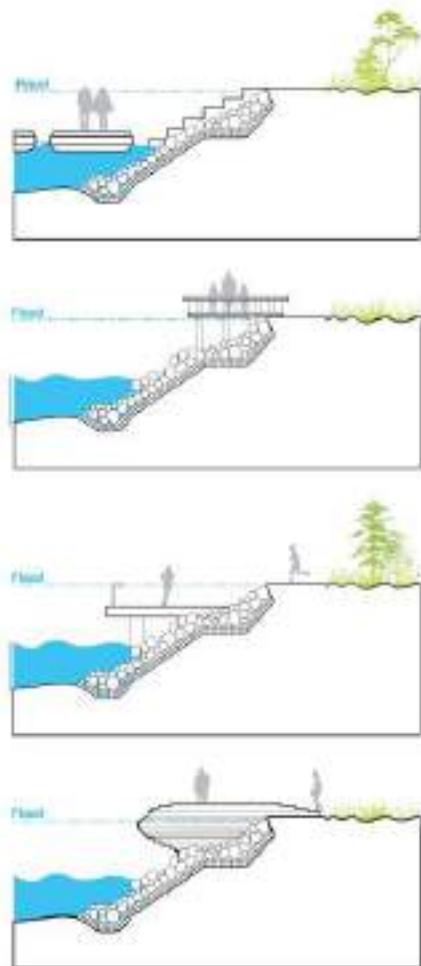


Revestimientos

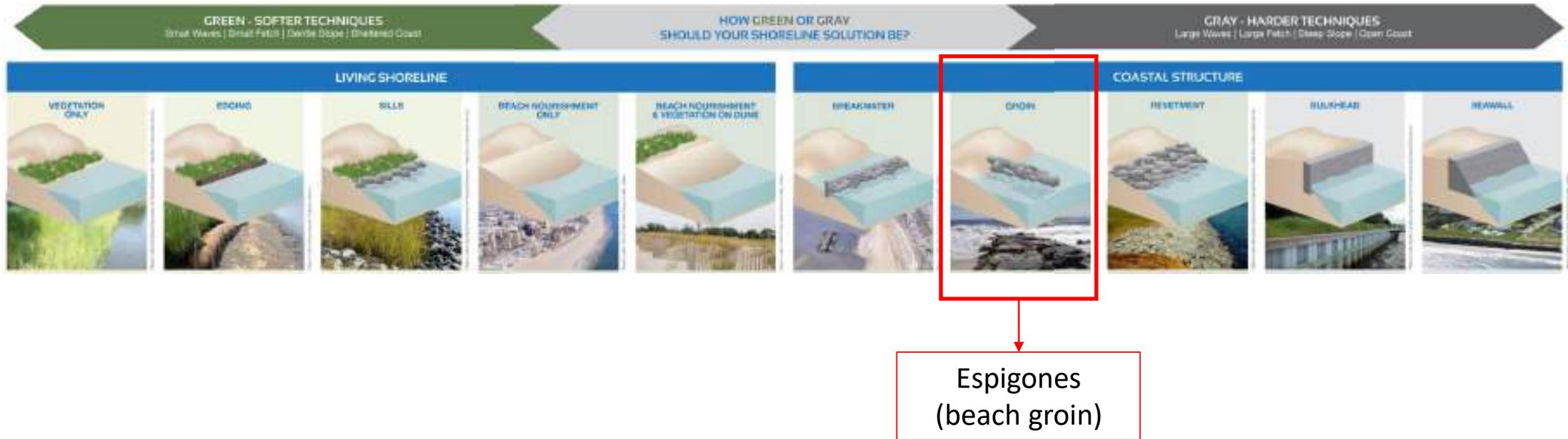
Es una superficie recubierta de roca, bloques de hormigón adoquines u otros, cuyo objetivo es proteger la superficie contra la erosión generada por las olas y las corrientes; en general acompaña otras estructuras, como muros costeros, diques costeros o dunas. Pueden estar expuestos o enterrados.



Revestimientos



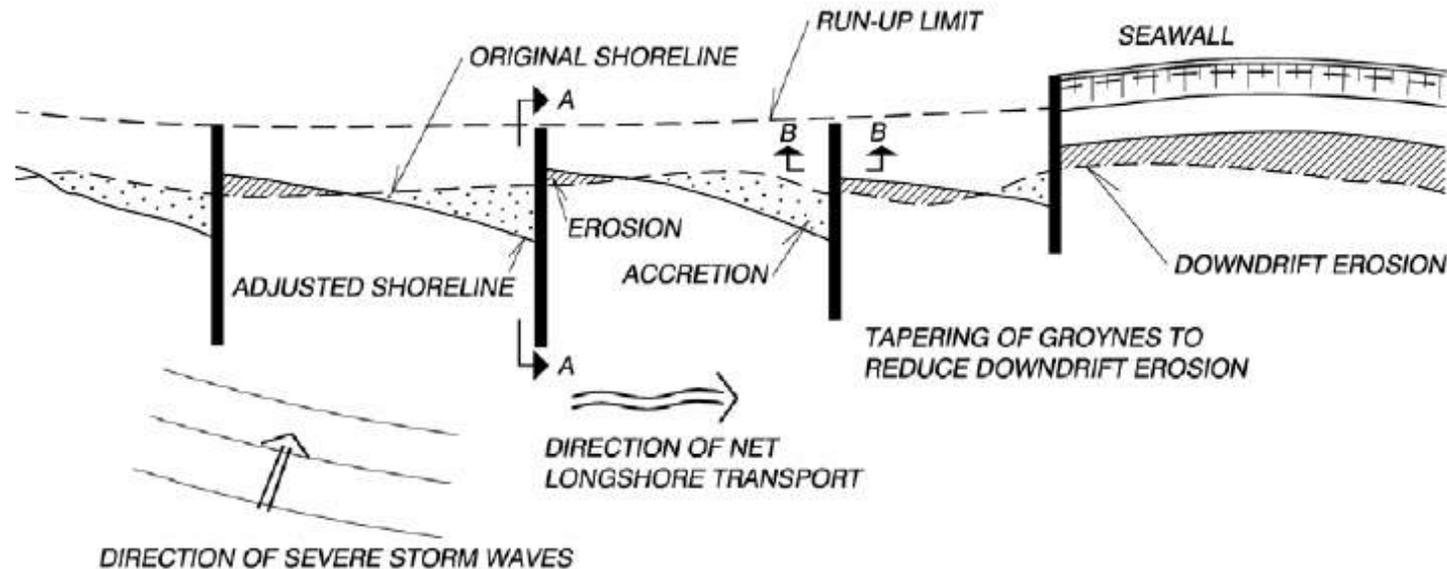
Protección costera (erosión): tipos de obras



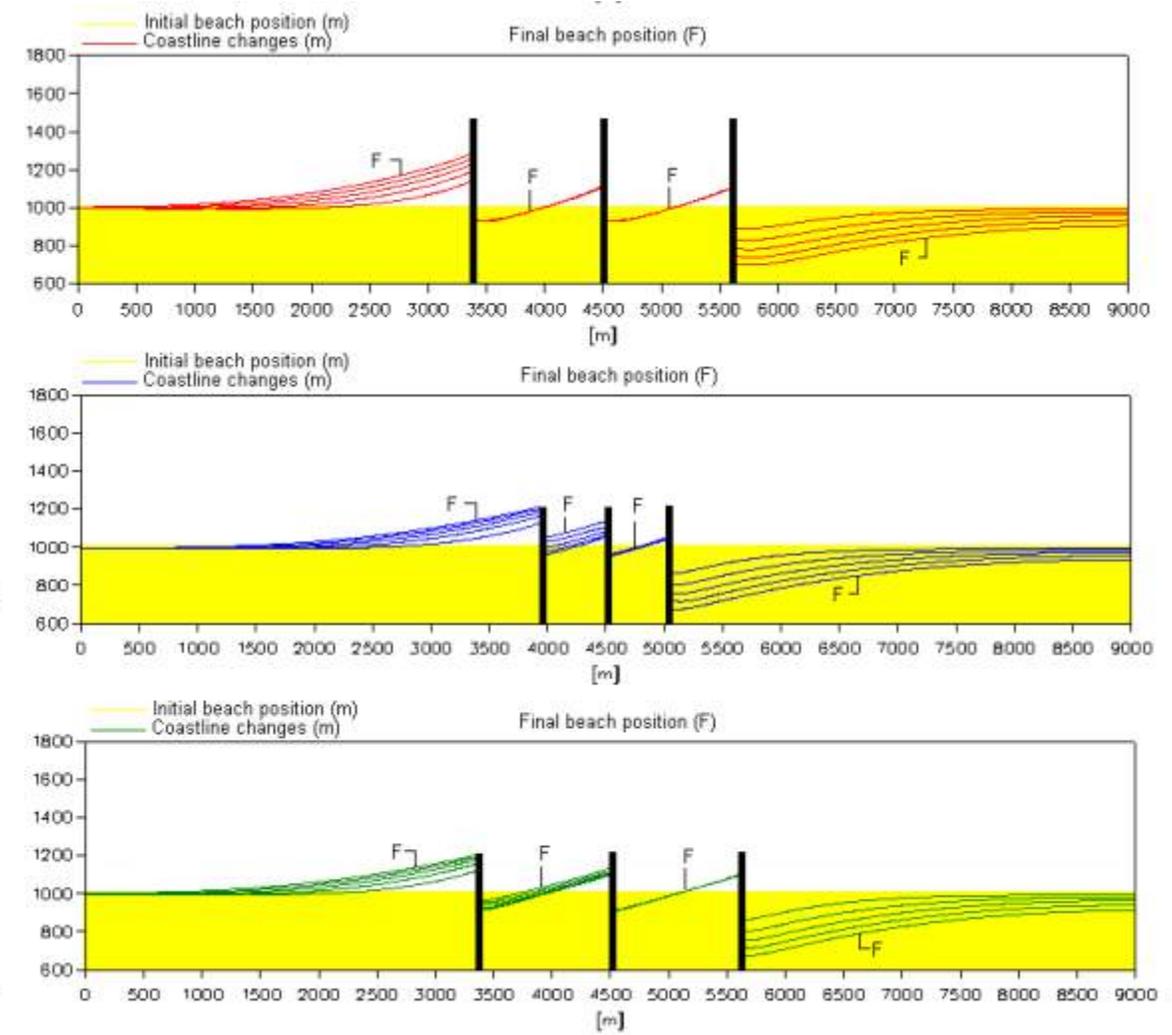
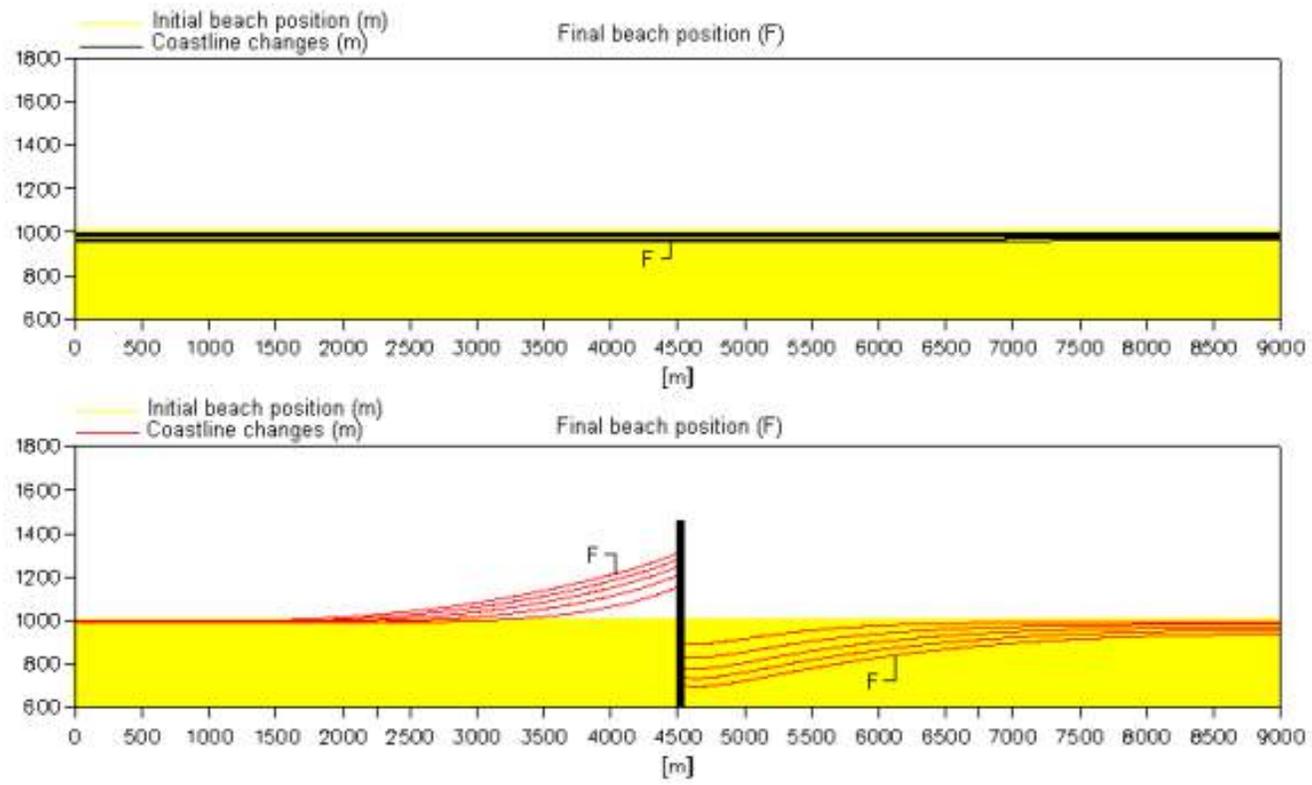
Espigones

Son estructuras normales a la línea de costa que bloquean o disminuyen el transporte litoral, reteniendo el sedimento en uno de sus lados.

Típicamente se construyen en grupos de varios espigones.

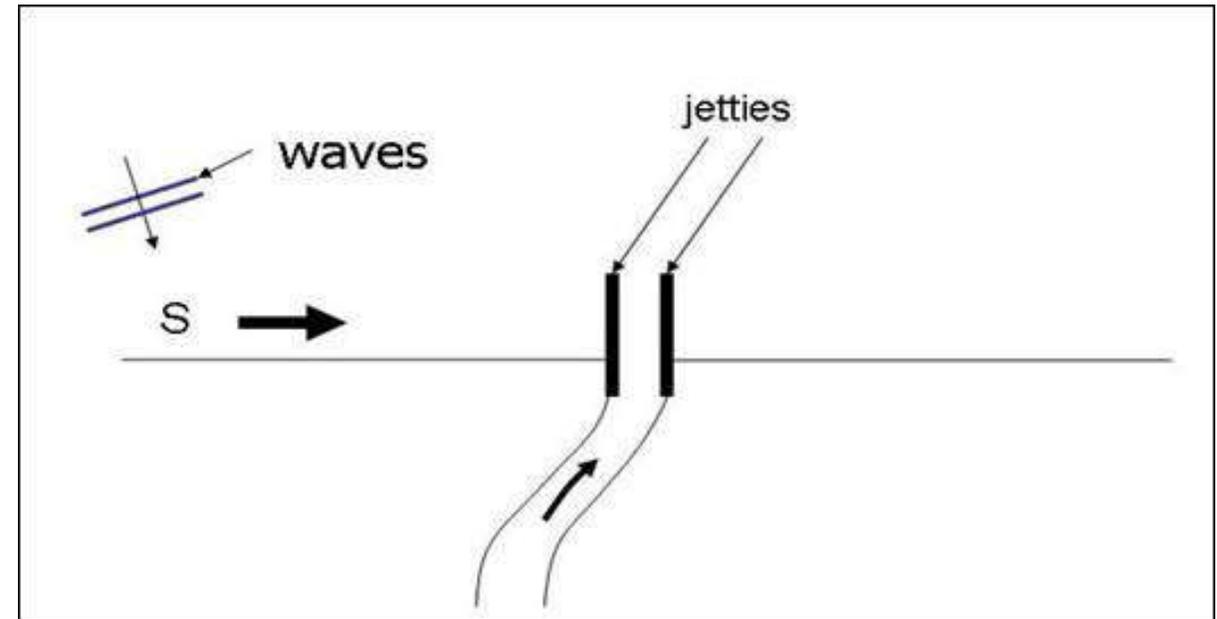
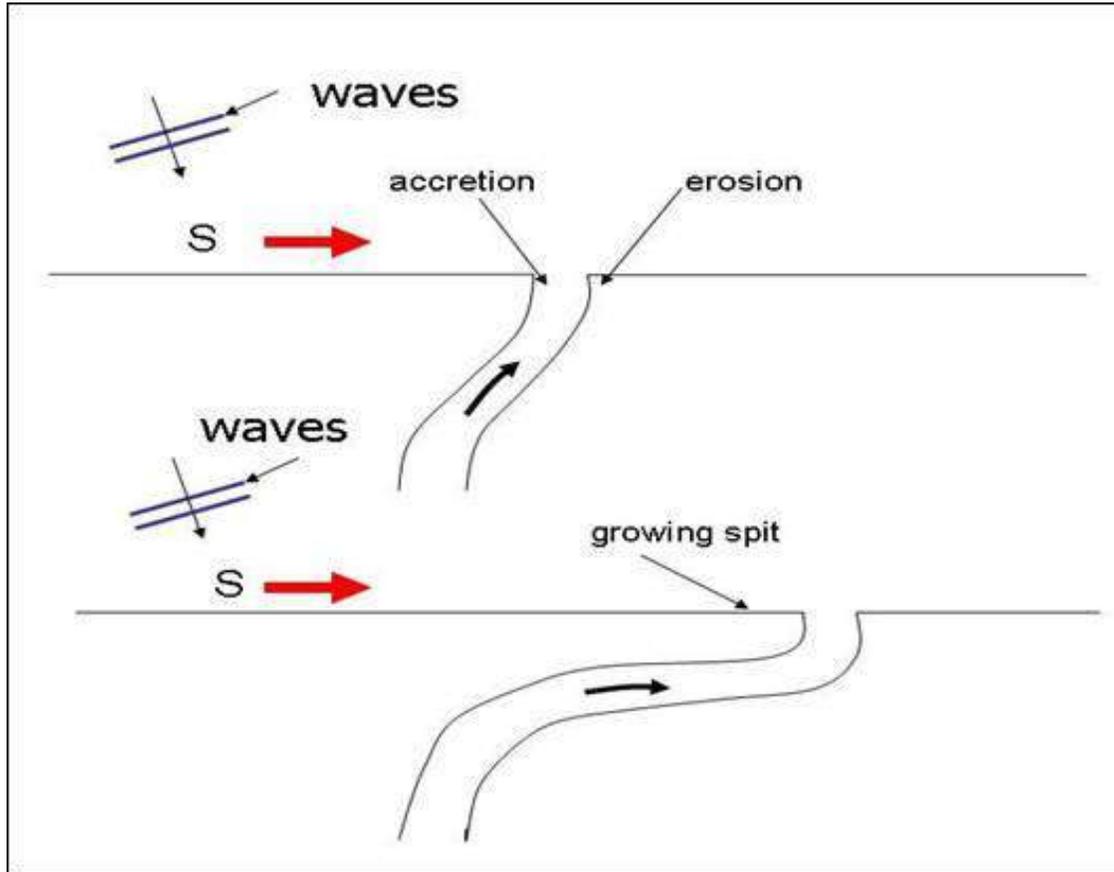


Espigones



Espigones

Un caso particular son los utilizados para fijación de desembocaduras (jetties).



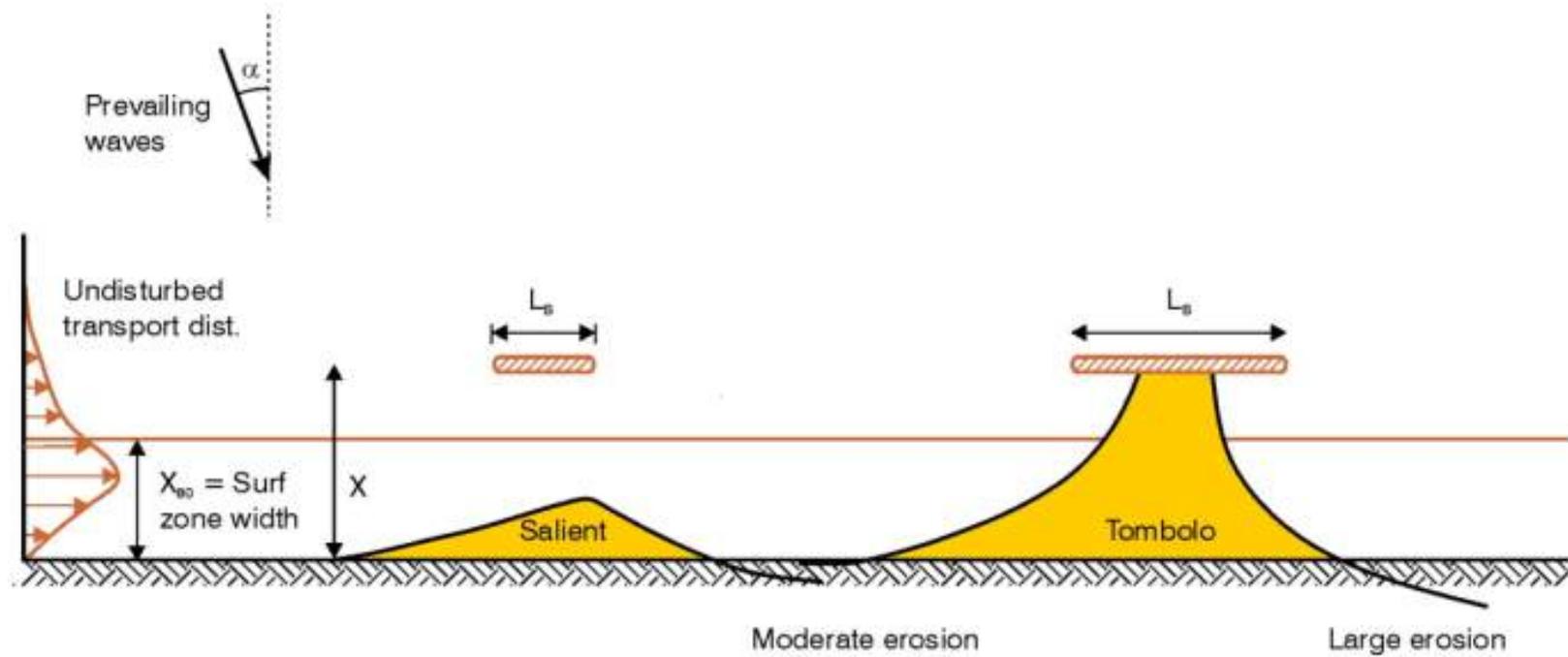
Protección costera (erosión): tipos de obras



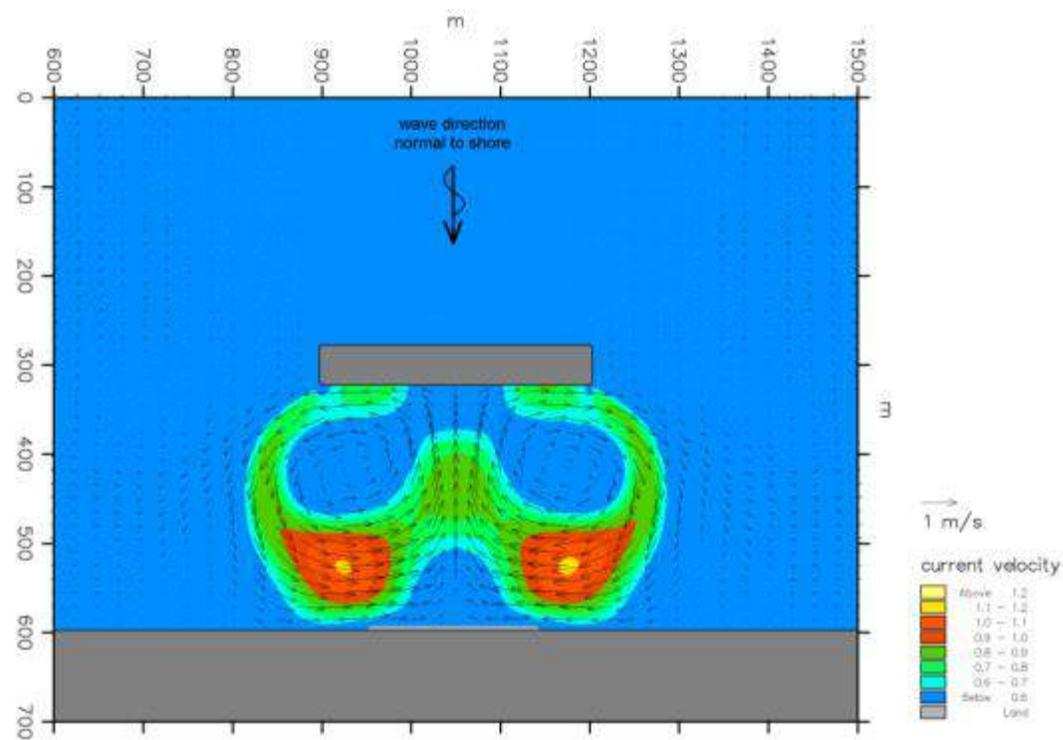
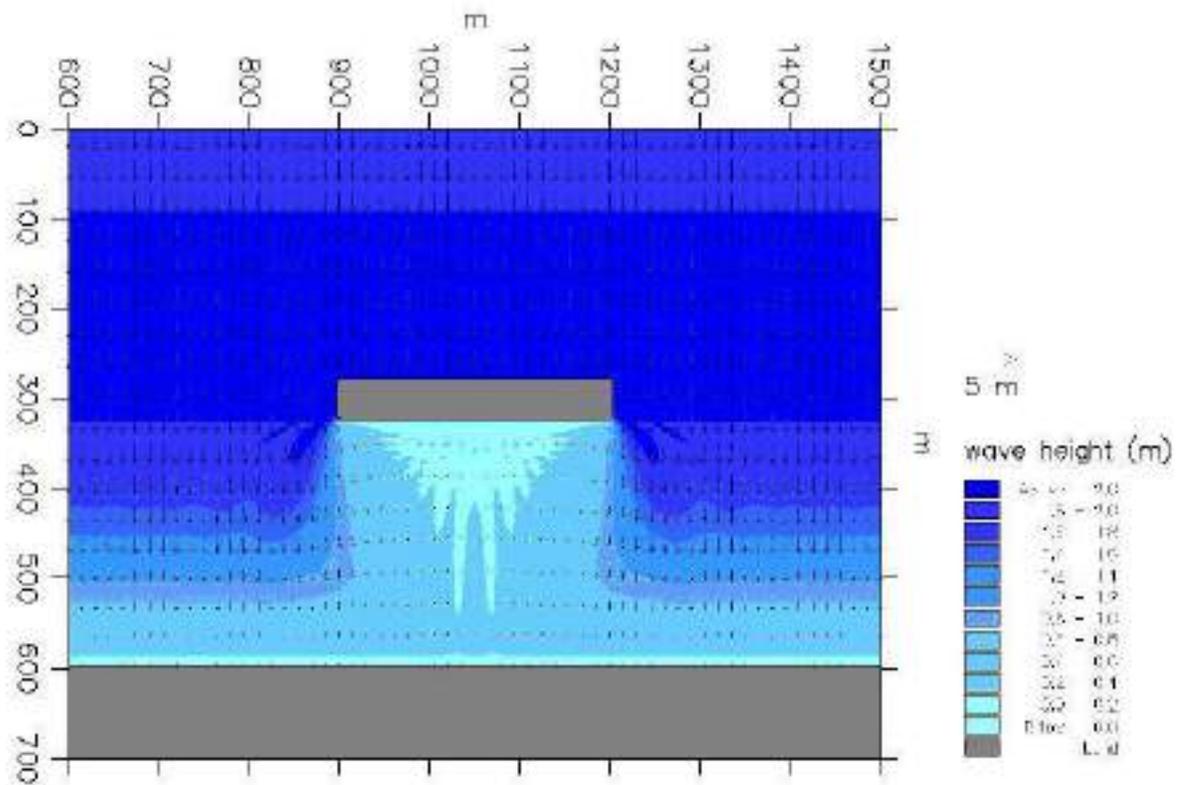
Rompeolas exento
(detached breakwater)

Rompeolas exento

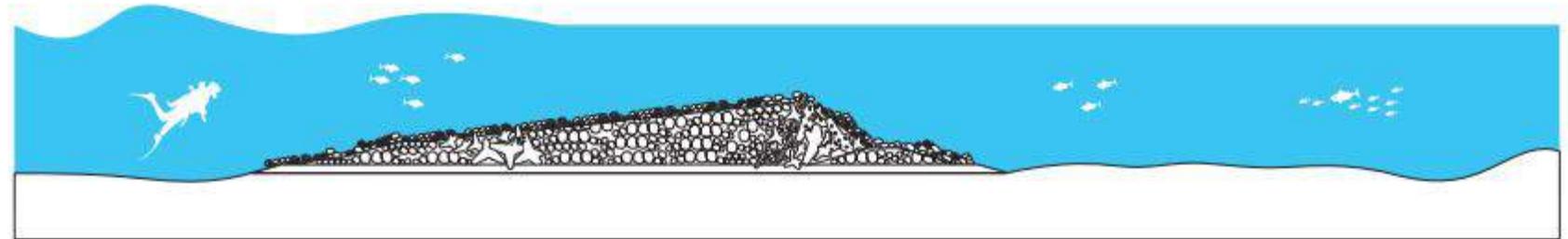
Son estructuras paralelas a la línea de costa que disminuyen la energía del oleaje que llega a la playa.



Rompeolas exento



Rompeolas exento



Constructed reef

Submerged breakwaters can become a habitat for sea life.

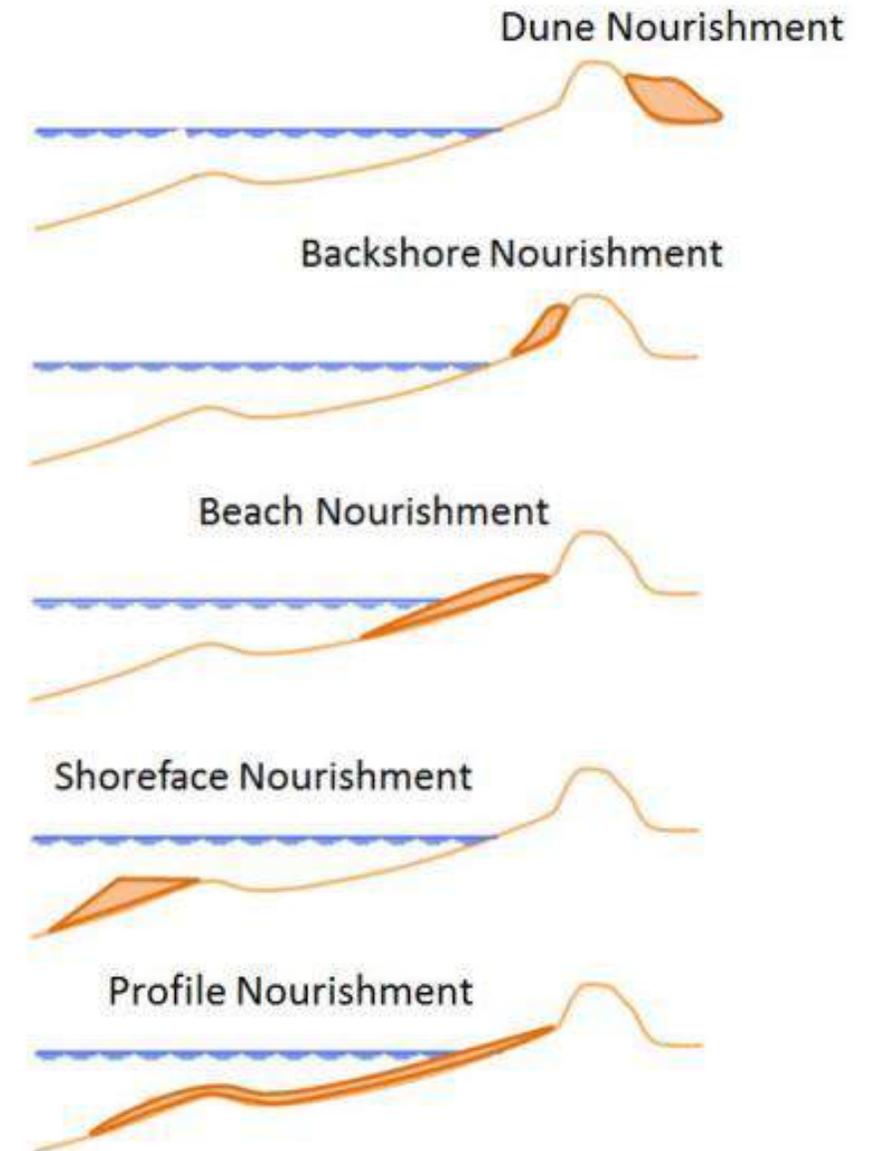
Protección costera (erosión): tipos de obras



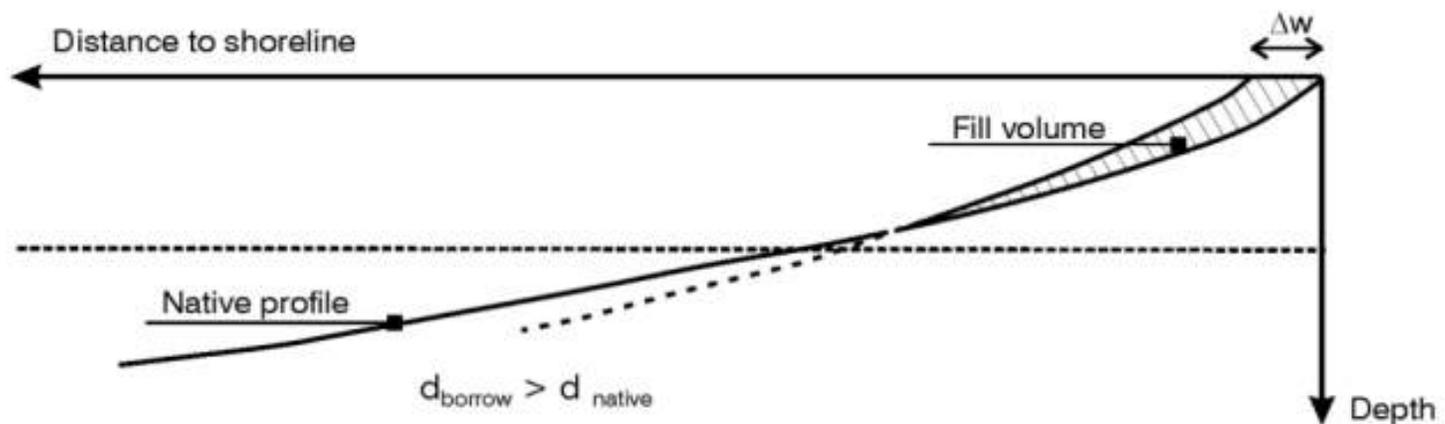
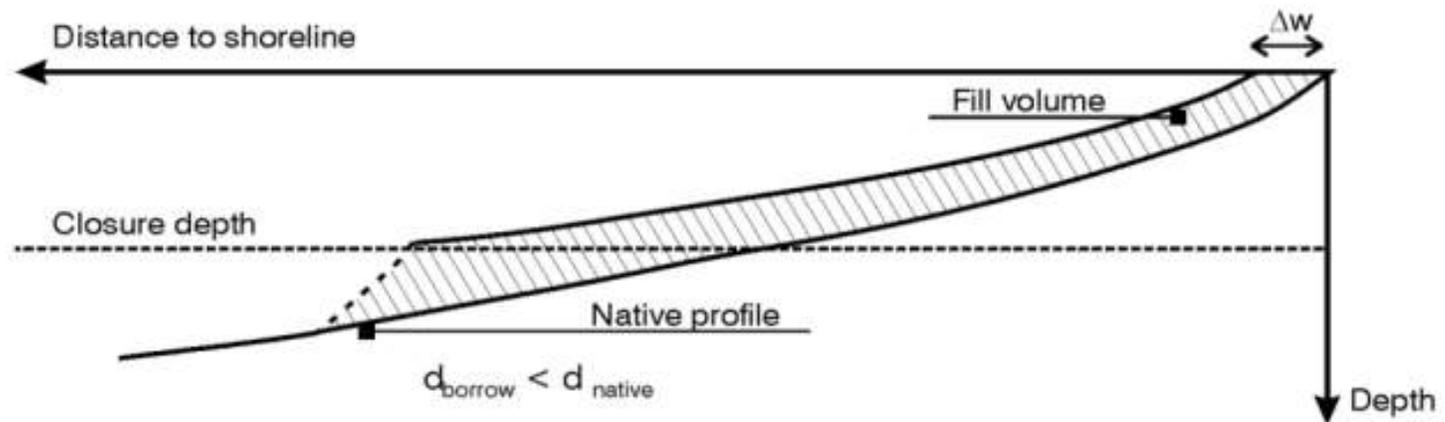
Relleno de playa y revegetación de dunas
(beach nourishment & vegetation on dune)

Relleno de playa

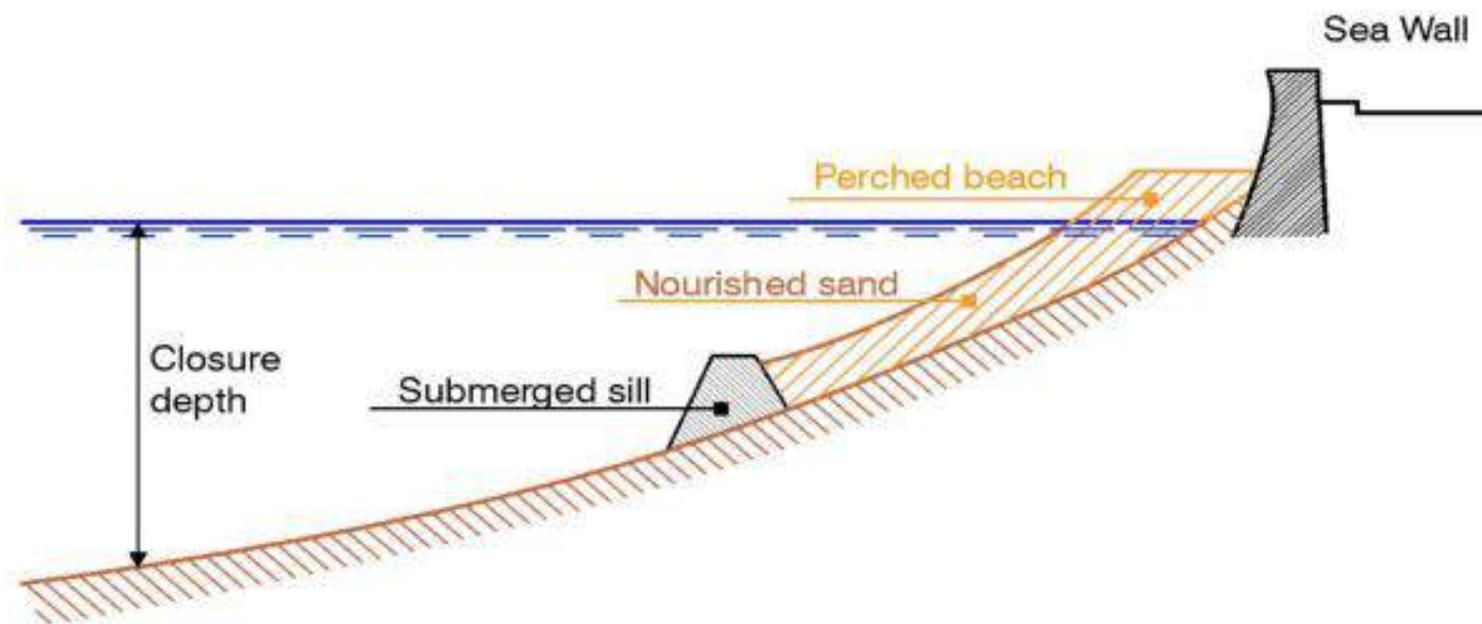
Aporte de arena para compensar déficit en balance de sedimentos (medida temporal) o para construir una situación de equilibrio (en general en combinación con otras estructuras). Se requiere lugar de préstamos con material de calidad y cantidad suficiente.



Relleno de playa



Relleno de playa



Relleno de playa



Relleno de playa



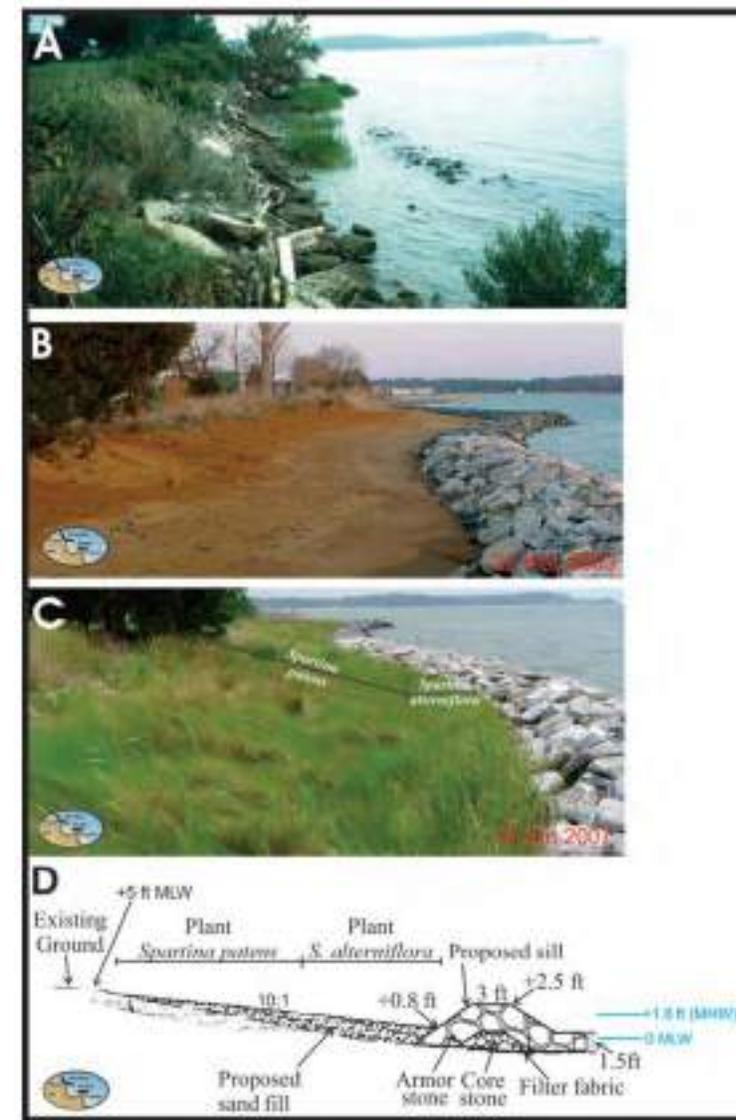
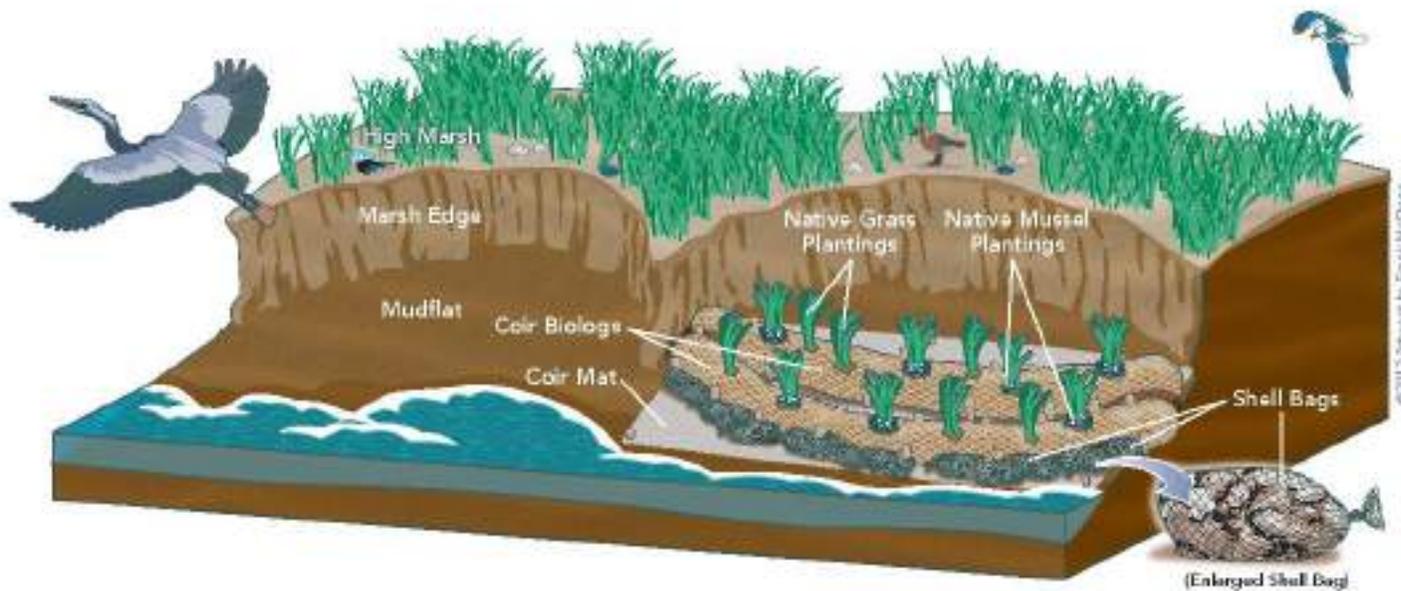
Relleno de playa



Protección costera (erosión): tipos de obras

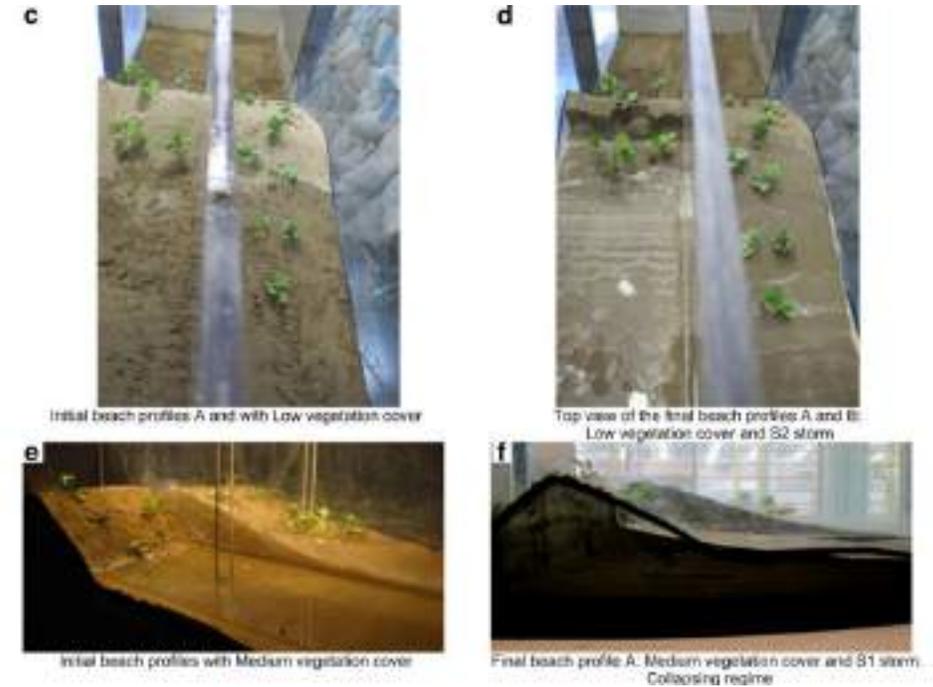
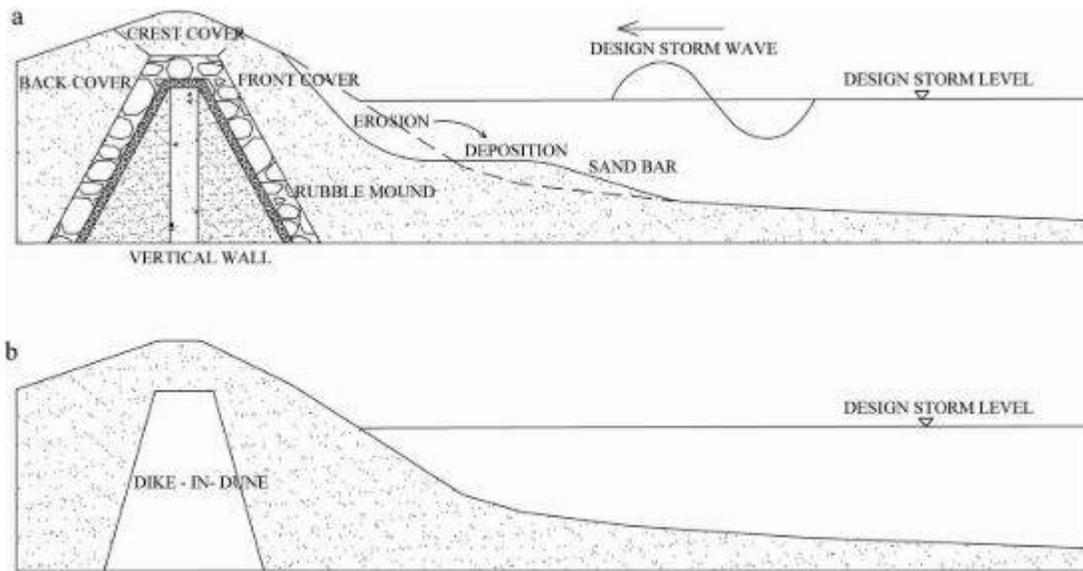


Reconstrucción de hábitat



Soluciones híbridas

Todavía se necesita investigación y desarrollo de casos pilotos bien monitorizados, que permitan elaborar recomendaciones de diseño y reducir las incertidumbres del mismo.



- Falta mediciones de oleaje en el Río de la Plata interior
- Faltan mediciones sistemáticas de morfología de playa
- Falta “cerrar” balances de sedimentos (puntas rocosas, fuentes/sumideros, transporte eólico).
- Grandes incertidumbres en desembocaduras/lagunas
- ¿Cómo evolucionan las intervenciones que se ejecutan?
- ¿Cuáles son las soluciones híbridas/basadas en la naturaleza factibles en Uruguay?
- ¿Qué disponibilidad hay de arena y qué tan factible es su uso para intervenciones de playa?
- Nuevas proyecciones de CC.