



INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

REPÚBLICA ARGENTINA

**PUERTO
BUENOS AIRES**

ESTUDIOS HIDRÁULICOS PARA LA MODERNIZACIÓN DEL PUERTO DE BUENOS AIRES

Segundo Informe de Avance



**Proyecto LHA366
Informe LHA 02-366-17
Ezeiza, Agosto de 2017**

Laboratorio de Hidráulica

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE

Ing. Julio C. DE LÍO

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

Ing. Jorge A. MAZA

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Ing. Julio C. DE LÍO

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

Jefe del Programa de Hidráulica Computacional

EQUIPO DE TRABAJO

Ing. Martín SABAROTS GERBEC

Ing. Nicolás TOMAZÍN

Ing. Mag. Mariano RE

Ing. Pablo GARCÍA

Ing. Lucas STORTO

ESTUDIOS HIDRÁULICOS PARA LA MODERNIZACIÓN DEL PUERTO DE BUENOS AIRES

Segundo Informe de Avance

RESUMEN

Se obtienen resultados sobre la agitación actual y esperada en el puerto de Buenos Aires. Se presentan los resultados completos del impacto hidráulico del cambio de configuración del puerto sobre el Río de la Plata. Se analizan las condiciones hidrodinámicas en el interior del puerto para la situación actual y la futura. Se determinan las tasas de sedimentación correspondientes a todas las dársenas del puerto actual.

Descriptores temáticos: agitación, impacto hidráulico, hidrodinámica portuaria, sedimentación

Descriptores geográficos e institucionales: Río de la Plata, Puerto de Buenos Aires, Administración General de Puertos

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
2	OLAS	5
2.1	Consideraciones generales	5
2.2	Oleaje en la zona de acceso al puerto	5
2.2.1	Datos de viento utilizados	5
2.2.2	Puntos de control	6
2.2.3	Resultados	7
2.3	Agitación dentro del recinto portuario	11
2.3.1	Resultados	12
3	IMPACTO HIDRÁULICO	16
3.1	Consideraciones generales	16
3.2	Condiciones normales	17
3.3	Condiciones de Sudestada	20
3.4	Condiciones de bajante extraordinaria	23
3.5	Comparación de resultados	26
3.6	Discusión	27
4	HIDRODINÁMICA DEL PUERTO	29
4.1	Consideraciones generales	29
4.2	Metodología de modelación hidrodinámica local	29

4.3 Configuración actual	30
4.4 Configuración futura	33
4.5 Estratificación térmica	35
5 SEDIMENTACIÓN	37
5.1 Consideraciones generales	37
5.2 Tasas de sedimentación	37
6 CONCLUSIONES	43

1 INTRODUCCIÓN

La Administración General de Puertos (AGP) ha desarrollado un proyecto preliminar de nueva configuración para el Puerto de Buenos Aires, y ha encargado al INA llevar a cabo estudios para evaluar y optimizar su desempeño hidráulico.

En el Primer Informe de Avance, producido en Junio de 2017, se efectuó una primera descripción expeditiva de las metodologías a utilizar para llevar adelante esos estudios, y se presentaron algunos resultados preliminares a título de ilustración del tipo de productos a obtener. Previamente, se resumieron los antecedentes de estudios para la ampliación del Puerto de Buenos Aires.

En este Segundo Informe de Avance se presentan resultados más precisos y abarcadores.

La organización del Informe es como sigue:

- En el capítulo 2 se desarrolla el análisis de la agitación, utilizándose mallas de cálculo más finas y ampliando el espectro de escenarios respecto del Primer Informe de Avance.
- En capítulo 3 se presentan resultados completos para el estudio de impacto hidráulico, incluyéndose el análisis de condiciones hidrodinámicas extremas.
- En el capítulo 4 se muestran resultados sobre la hidrodinámica en el interior del puerto empleando una representación más fiel de la configuración de proyecto. Además, se presentan resultados preliminares sobre el problema de la estratificación térmica provocada por la descarga de la central termoeléctrica.
- En el capítulo 5 se presentan las tasas de sedimentación en todas las dársenas del puerto actual obtenidas en base a los datos de relevamientos.
- En el capítulo 6 se desarrollan las conclusiones de esta etapa de estudios.

2 OLAS

2.1 Consideraciones generales

En el Primer Informe de Avance se presentó:

- Una descripción de la metodología de modelación para la generación y propagación de oleaje.
- Su implementación y validación para el problema bajo estudio.
- Su aplicación preliminar para caracterizar el oleaje en la zona de acceso al Puerto de Buenos Aires.
- Una descripción de la metodología de modelación de agitación dentro del recinto portuario.
- Su implementación para el problema bajo estudio.
- Su aplicación preliminar para caracterizar la agitación dentro del Puerto de Buenos Aires para la configuración actual y una configuración alternativa.

En este Segundo Informe de Avance se presentan resultados más precisos para estos escenarios.

2.2 Oleaje en la zona de acceso al puerto

El modelo de propagación de olas fue implementado con el propósito de estimar la relación entre alturas de ola (H_s) y períodos de retorno (T_r) en las proximidades del Puerto de Buenos Aires. La información generada mediante esta aplicación de SWAN resulta relevante para el diseño de las obras de defensa contra la acción del oleaje.

2.2.1 Datos de viento utilizados

Los escenarios de cálculo considerados para este estudio consistieron en forzar el modelo con vientos extremos actuando desde diferentes direcciones de incidencia. Este análisis considera que las olas que se presentan en el área costera están originadas por vientos locales que soplan desde el río hacia la costa, es decir particularmente desde las direcciones N hasta SSE. Las olas oceánicas (*swell*), que constituyen una situación frecuente en el área oceánica, se disipan rápidamente al propagarse por las aguas poco profundas del estuario, y desde el punto de vista práctico se ha considerado que no tienen incidencia en este análisis.

La información de base utilizada corresponde a una serie histórica de valores medios horarios de intensidad de viento con una resolución direccional de 16 sectores, registrados en la estación 10332 Aeroparque del Servicio Meteorológico Nacional (SMN). La serie abarca el período de 33 años comprendido entre el 1/1/1976 al 31/12/2008.

Las series de valores máximos anuales para cada dirección fueron ajustadas por funciones de valores extremos (Weibull y Gumbel), siguiendo la metodología presentada en Castellano¹. Del mencionado análisis surge como resultado la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Intensidad de viento para distintos periodos de retorno (Estación Aeroparque, 1976-2008)

Tr (años)	W (m/s)							
	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
2	11.9	12.4	11.4	11.5	12.7	14.5	14.0	14.4
5	14.4	15.8	13.6	14.1	15.5	16.4	16.7	17.2
10	16.0	18.2	15.0	15.4	17.1	17.5	18.4	18.7
20	17.4	20.6	16.2	16.5	18.6	18.4	20.1	19.9
50	19.0	23.6	17.8	17.7	20.4	19.4	22.4	21.1
100	20.1	25.9	18.9	18.5	21.7	20.1	24.0	22.0
500	22.5	30.9	21.2	20.0	24.4	21.4	27.8	23.7

2.2.2 Puntos de control

Con el propósito de caracterizar el oleaje generado para los distintos escenarios de análisis, se seleccionaron tres ubicaciones puntuales en el entorno de las instalaciones portuarias sobre los cuales se presentan los resultados de la modelación.

Estos puntos de control, identificados en la Figura 2.1, se encuentran distribuidos a lo largo del frente costero, a una distancia aproximada de 500 m respecto de las escolleras, en una zona donde la profundidad natural resulta del orden 3 m para el nivel medio de la marea.

¹Castellano, R., (2009). Modelación del impacto de un relleno costero sobre la dinámica del río de la plata. Informe de Avance N° 2 Determinación del Clima de Oleaje. INA-LABORATORIO DE HIDRAULICA, LHA 300-03-09.

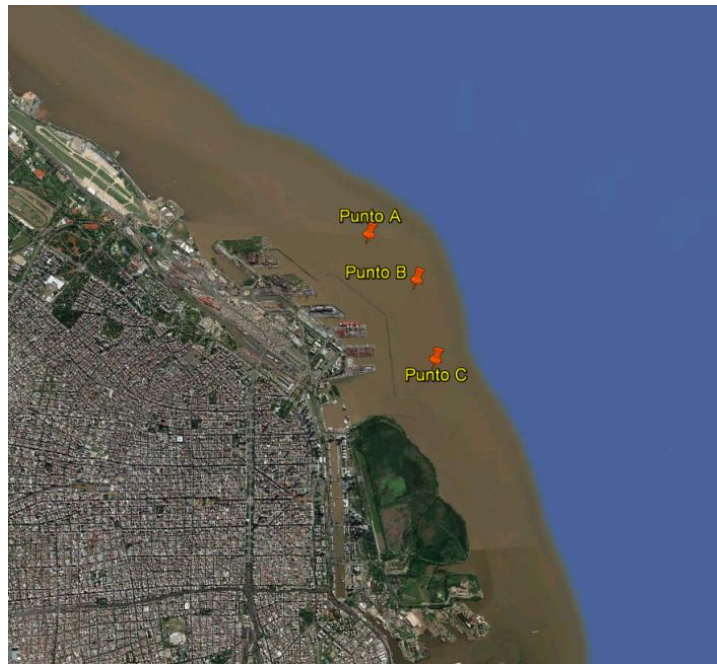


Figura 2.1.Ubicación de puntos de control para la caracterización del oleaje.

2.2.3 Resultados

Mediante la implementación de SWAN se realizaron un conjunto de simulaciones numéricas, evaluando la generación del oleaje y su propagación hasta las proximidades del puerto para un conjunto amplio de escenarios que corresponden a intensidades de viento con períodos de retorno variando entre 2 y 500 años, considerando las direcciones de interés para este estudio.

Este análisis tiene en cuenta el efecto meteorológico que implica la sobre elevación del río generada por la acción de vientos intensos soplando en forma sostenida hacia la costa, y que resulta determinante para la propagación de las olas en un área que naturalmente presenta aguas poco profundas. En este caso, por simplicidad, se adoptó para todas las simulaciones un nivel de referencia de +4m MOP, lo que corresponde a un valor extremo de marea asociado a un período de retorno T_r de entre 50 y 100 años.

A título ilustrativo, la Figura 2.2 muestra el campo de alturas del oleaje obtenido de la simulación de un escenario correspondiente a un viento del SE con una intensidad de $W=20,1$ m/s ($T_r=20$ años).



Figura 2.2. Campo de alturas de olas en cercanías del puerto. Escenario Viento SE Tr=20 años.

Los resultados de la modelación son presentados para cada dirección de viento en la Tabla 2.2 a Tabla 2.9. En cada una se indica la ubicación de los puntos de control (A, B y C), junto con las características del oleaje correspondiente: período de retorno asociado a cada escenario (Tr); altura significativa del oleaje (Hs), período de pico del espectro (Rtpeak), período medio (Tm01), dirección de incidencia del oleaje (Dir), profundidad puntual para el escenario analizado (Depth), y longitud de onda (Wlen).

Tabla 2.2. Oleaje generado por Viento N.

TR (años)	Punto	Longitud (°)	Latitud (°)	Hs (m)	Rtpeak (seg)	Tm01 (seg)	Dir (°)	Depth (m)	Wlen (m)
TR 2	A	-58.36253	-34.56868	1.17	4.57	3.61	2.73	6.17	17.46
TR2	B	-58.35315	-34.57526	1.14	4.57	3.57	357.64	6.78	17.29
TR2	C	-58.34882	-34.58735	1.00	3.95	3.31	356.72	6.23	14.76
TR5	A	-58.36253	-34.56868	1.46	4.57	3.99	3.04	6.17	20.69
TR5	B	-58.35315	-34.57526	1.42	4.57	3.91	357.70	6.78	20.36
TR5	C	-58.34882	-34.58735	1.24	4.57	3.61	357.27	6.23	17.25
TR10	A	-58.36253	-34.56868	1.64	5.30	4.18	3.55	6.17	22.38
TR10	B	-58.35315	-34.57526	1.59	4.57	4.08	357.98	6.78	21.90
TR10	C	-58.34882	-34.58735	1.38	4.57	3.79	357.52	6.23	18.71
TR20	A	-58.36253	-34.56868	1.77	5.30	4.32	3.81	6.17	23.52
TR20	B	-58.35315	-34.57526	1.71	5.30	4.20	358.32	6.78	22.92
TR20	C	-58.34882	-34.58735	1.50	4.57	3.90	358.38	6.23	19.66
TR50	A	-58.36253	-34.56868	1.91	5.30	4.43	4.07	6.17	24.46
TR50	B	-58.35315	-34.57526	1.85	5.30	4.32	359.70	6.78	23.89
TR50	C	-58.34882	-34.58735	1.62	5.30	4.03	359.62	6.23	20.66
TR100	A	-58.36253	-34.56868	1.99	5.30	4.49	4.34	6.17	24.86
TR100	B	-58.35315	-34.57526	1.92	5.30	4.38	0.97	6.78	24.34
TR100	C	-58.34882	-34.58735	1.70	5.30	4.10	0.71	6.23	21.22
TR500	A	-58.36253	-34.56868	2.11	5.30	4.55	4.09	6.17	25.25
TR500	B	-58.35315	-34.57526	2.05	5.30	4.45	3.07	6.78	24.71
TR500	C	-58.34882	-34.58735	1.84	5.30	4.21	3.21	6.23	22.13

Tabla 2.3.Oleaje generado por Viento NNE.

TR (años)	Punto	Longitud (°)	Latitud (°)	Hs (m)	Rtpeak (seg)	Tm01 (seg)	Dir (°)	Depth (m)	Wlen (m)
TR 2	A	-58.36253	-34.56868	1.28	4.57	3.79	25.17	6.17	19.13
TR2	B	-58.35315	-34.57526	1.18	3.95	3.61	21.07	6.78	17.69
TR2	C	-58.34882	-34.58735	1.07	3.95	3.38	19.07	6.23	15.65
TR5	A	-58.36253	-34.56868	1.69	5.30	4.26	27.80	6.17	23.23
TR5	B	-58.35315	-34.57526	1.54	4.57	4.02	23.64	6.78	21.42
TR5	C	-58.34882	-34.58735	1.43	4.57	3.81	23.26	6.23	19.35
TR10	A	-58.36253	-34.56868	1.92	5.30	4.47	29.08	6.17	24.91
TR10	B	-58.35315	-34.57526	1.77	5.30	4.26	26.62	6.78	23.44
TR10	C	-58.34882	-34.58735	1.65	4.57	4.07	26.86	6.23	21.57
TR20	A	-58.36253	-34.56868	2.09	5.30	4.58	30.20	6.17	25.63
TR20	B	-58.35315	-34.57526	1.97	5.30	4.42	30.48	6.78	24.74
TR20	C	-58.34882	-34.58735	1.85	4.57	4.26	31.91	6.23	23.10
TR50	A	-58.36253	-34.56868	2.19	5.30	4.62	29.67	6.17	25.75
TR50	B	-58.35315	-34.57526	2.13	5.30	4.53	33.87	6.78	25.43
TR50	C	-58.34882	-34.58735	2.03	5.30	4.42	36.67	6.23	24.19
TR100	A	-58.36253	-34.56868	2.24	5.30	4.62	28.49	6.17	25.61
TR100	B	-58.35315	-34.57526	2.20	5.30	4.56	34.46	6.78	25.49
TR100	C	-58.34882	-34.58735	2.12	5.30	4.47	37.53	6.23	24.38
TR500	A	-58.36253	-34.56868	2.31	5.30	4.57	26.31	6.17	24.90
TR500	B	-58.35315	-34.57526	2.25	5.30	4.49	34.37	6.78	24.54
TR500	C	-58.34882	-34.58735	2.15	5.30	4.38	39.62	6.23	23.16

Tabla 2.4.Oleaje generado por Viento NE.

TR (años)	Punto	Longitud (°)	Latitud (°)	Hs (m)	Rtpeak (seg)	Tm01 (seg)	Dir (°)	Depth (m)	Wlen (m)
TR 2	A	-58.3625	-34.5687	1.18	4.57	3.70	62.22	6.17	18.29
TR2	B	-58.3532	-34.5753	1.07	4.57	3.51	65.61	6.78	16.57
TR2	C	-58.3488	-34.5874	1.09	4.57	3.51	75.35	6.23	16.48
TR5	A	-58.3625	-34.5687	1.48	5.30	4.08	65.03	6.17	21.64
TR5	B	-58.3532	-34.5753	1.35	4.57	3.88	68.63	6.78	19.86
TR5	C	-58.3488	-34.5874	1.39	5.30	3.94	77.97	6.23	20.14
TR10	A	-58.3625	-34.5687	1.67	5.30	4.29	66.31	6.17	23.44
TR10	B	-58.3532	-34.5753	1.52	5.30	4.09	70.05	6.78	21.65
TR10	C	-58.3488	-34.5874	1.58	5.30	4.17	79.02	6.23	22.20
TR20	A	-58.3625	-34.5687	1.81	5.30	4.40	66.57	6.17	24.27
TR20	B	-58.3532	-34.5753	1.66	5.30	4.25	71.06	6.78	23.07
TR20	C	-58.3488	-34.5874	1.73	5.30	4.32	79.54	6.23	23.48
TR50	A	-58.3625	-34.5687	1.97	5.30	4.50	66.22	6.17	25.02
TR50	B	-58.3532	-34.5753	1.84	5.30	4.42	72.22	6.78	24.58
TR50	C	-58.3488	-34.5874	1.92	6.14	4.48	80.47	6.23	24.75
TR100	A	-58.3625	-34.5687	2.03	6.14	4.52	66.13	6.17	25.05
TR100	B	-58.3532	-34.5753	1.91	6.14	4.46	73.43	6.78	24.90
TR100	C	-58.3488	-34.5874	1.99	6.14	4.52	81.59	6.23	24.94
TR500	A	-58.3625	-34.5687	2.12	6.14	4.54	64.91	6.17	25.14
TR500	B	-58.3532	-34.5753	2.03	6.14	4.52	73.94	6.78	25.18
TR500	C	-58.3488	-34.5874	2.09	6.14	4.55	82.02	6.23	24.99

Tabla 2.5.Oleaje generado por Viento ENE.

TR (años)	Punto	Longitud (°)	Latitud (°)	Hs (m)	Rtpeak (seg)	Tm01 (seg)	Dir (°)	Depth (m)	Wlen (m)
TR 2	A	-58.36253	-34.56868	1.24	4.57	3.82	90.24	6.17	18.90
TR2	B	-58.35315	-34.57526	1.16	4.57	3.74	93.67	6.78	18.23
TR2	C	-58.34882	-34.58735	1.23	4.57	3.83	98.75	6.23	19.06
TR5	A	-58.36253	-34.56868	1.63	5.30	4.30	90.45	6.17	23.12
TR5	B	-58.35315	-34.57526	1.53	5.30	4.23	93.74	6.78	22.62
TR5	C	-58.34882	-34.58735	1.63	5.30	4.34	97.80	6.23	23.53
TR10	A	-58.36253	-34.56868	1.80	5.30	4.44	89.29	6.17	24.20
TR10	B	-58.35315	-34.57526	1.70	5.30	4.42	93.20	6.78	24.17
TR10	C	-58.34882	-34.58735	1.82	6.14	4.50	96.78	6.23	24.81
TR20	A	-58.36253	-34.56868	1.91	6.14	4.50	88.42	6.17	24.53
TR20	B	-58.35315	-34.57526	1.82	6.14	4.51	93.22	6.78	24.86
TR20	C	-58.34882	-34.58735	1.94	6.14	4.56	96.62	6.23	25.13
TR50	A	-58.36253	-34.56868	1.98	6.14	4.53	87.26	6.17	24.72
TR50	B	-58.35315	-34.57526	1.91	6.14	4.56	93.00	6.78	25.20
TR50	C	-58.34882	-34.58735	2.01	6.14	4.59	96.37	6.23	25.26
TR100	A	-58.36253	-34.56868	2.02	6.14	4.55	86.27	6.17	24.82
TR100	B	-58.35315	-34.57526	1.96	6.14	4.59	92.32	6.78	25.40
TR100	C	-58.34882	-34.58735	2.05	6.14	4.61	95.72	6.23	25.32
TR500	A	-58.36253	-34.56868	2.07	6.14	4.58	84.55	6.17	24.95
TR500	B	-58.35315	-34.57526	2.04	6.14	4.63	90.87	6.78	25.60
TR500	C	-58.34882	-34.58735	2.11	6.14	4.64	94.50	6.23	25.39

Tabla 2.6.Oleaje generado por Viento E

TR (años)	Punto	Longitud (°)	Latitud (°)	Hs (m)	Rtpeak (seg)	Tm01 (seg)	Dir (°)	Depth (m)	Wlen (m)
TR 2	A	-58.36253	-34.56868	1.51	5.30	4.27	99.29	6.17	22.65
TR2	B	-58.35315	-34.57526	1.42	5.30	4.15	104.03	6.78	21.79
TR2	C	-58.34882	-34.58735	1.50	5.30	4.26	105.24	6.23	22.60
TR5	A	-58.36253	-34.56868	1.88	6.14	4.54	97.30	6.17	24.71
TR5	B	-58.35315	-34.57526	1.78	6.14	4.53	102.17	6.78	25.00
TR5	C	-58.34882	-34.58735	1.89	6.14	4.59	103.30	6.23	25.25
TR10	A	-58.36253	-34.56868	1.97	6.14	4.59	96.00	6.17	24.93
TR10	B	-58.35315	-34.57526	1.91	6.14	4.60	101.69	6.78	25.36
TR10	C	-58.34882	-34.58735	1.99	6.14	4.64	102.75	6.23	25.49
TR20	A	-58.36253	-34.56868	2.03	6.14	4.61	94.58	6.17	25.04
TR20	B	-58.35315	-34.57526	2.00	6.14	4.64	99.95	6.78	25.63
TR20	C	-58.34882	-34.58735	2.07	6.14	4.66	101.54	6.23	25.52
TR50	A	-58.36253	-34.56868	2.08	6.14	4.61	93.78	6.17	24.90
TR50	B	-58.35315	-34.57526	2.06	6.14	4.64	99.62	6.78	25.45
TR50	C	-58.34882	-34.58735	2.11	6.14	4.66	101.24	6.23	25.38
TR100	A	-58.36253	-34.56868	2.10	6.14	4.60	92.95	6.17	24.77
TR100	B	-58.35315	-34.57526	2.11	6.14	4.65	98.24	6.78	25.42
TR100	C	-58.34882	-34.58735	2.14	6.14	4.66	100.32	6.23	25.32
TR500	A	-58.36253	-34.56868	2.15	6.14	4.59	92.16	6.17	24.43
TR500	B	-58.35315	-34.57526	2.17	6.14	4.64	97.84	6.78	25.05
TR500	C	-58.34882	-34.58735	2.17	6.14	4.65	99.81	6.23	24.94

Tabla 2.7.Oleaje generado por Viento ESE.

TR (años)	Punto	Longitud (°)	Latitud (°)	Hs (m)	Rtpeak (seg)	Tm01 (seg)	Dir (°)	Depth (m)	Wlen (m)
TR 2	A	-58.36253	-34.56868	1.73	5.30	4.49	105.23	6.17	24.32
TR2	B	-58.35315	-34.57526	1.63	5.30	4.38	111.23	6.78	23.64
TR2	C	-58.34882	-34.58735	1.70	6.14	4.44	109.31	6.23	23.88
TR5	A	-58.36253	-34.56868	1.90	6.14	4.57	103.88	6.17	24.89
TR5	B	-58.35315	-34.57526	1.82	6.14	4.54	109.57	6.78	24.93
TR5	C	-58.34882	-34.58735	1.90	6.14	4.58	107.88	6.23	25.03
TR10	A	-58.36253	-34.56868	1.96	6.14	4.58	103.52	6.17	24.87
TR10	B	-58.35315	-34.57526	1.89	6.14	4.57	109.70	6.78	25.09
TR10	C	-58.34882	-34.58735	1.96	6.14	4.60	107.66	6.23	25.13
TR20	A	-58.36253	-34.56868	1.99	6.14	4.59	103.12	6.17	24.90
TR20	B	-58.35315	-34.57526	1.95	6.14	4.59	109.24	6.78	25.13
TR20	C	-58.34882	-34.58735	2.00	6.14	4.61	107.27	6.23	25.12
TR50	A	-58.36253	-34.56868	2.02	6.14	4.60	102.81	6.17	24.86
TR50	B	-58.35315	-34.57526	1.99	6.14	4.60	108.79	6.78	25.11
TR50	C	-58.34882	-34.58735	2.04	6.14	4.62	107.05	6.23	25.18
TR100	A	-58.36253	-34.56868	2.04	6.14	4.59	102.62	6.17	24.77
TR100	B	-58.35315	-34.57526	2.02	6.14	4.60	108.50	6.78	25.12
TR100	C	-58.34882	-34.58735	2.06	6.14	4.62	106.98	6.23	25.14
TR500	A	-58.36253	-34.56868	2.06	6.14	4.59	102.37	6.17	24.68
TR500	B	-58.35315	-34.57526	2.07	6.14	4.61	108.07	6.78	25.04
TR500	C	-58.34882	-34.58735	2.09	6.14	4.62	106.83	6.23	24.99

Tabla 2.8.Oleaje generado por Viento SE.

TR (años)	Punto	Longitud (°)	Latitud (°)	Hs (m)	Rtpeak (seg)	Tm01 (seg)	Dir (°)	Depth (m)	Wlen (m)
TR 2	A	-58.36253	-34.56868	1.49	5.30	4.27	112.17	6.17	22.46
TR2	B	-58.35315	-34.57526	1.42	5.30	4.09	120.01	6.78	21.12
TR2	C	-58.34882	-34.58735	1.43	5.30	4.09	116.33	6.23	20.85
TR5	A	-58.36253	-34.56868	1.79	5.30	4.50	111.38	6.17	24.28
TR5	B	-58.35315	-34.57526	1.71	5.30	4.39	118.48	6.78	23.62
TR5	C	-58.34882	-34.58735	1.73	5.30	4.40	114.66	6.23	23.42
TR10	A	-58.36253	-34.56868	1.90	6.14	4.53	110.77	6.17	24.45
TR10	B	-58.35315	-34.57526	1.84	6.14	4.48	117.68	6.78	24.35
TR10	C	-58.34882	-34.58735	1.86	6.14	4.48	113.68	6.23	24.01
TR20	A	-58.36253	-34.56868	1.97	6.14	4.55	110.51	6.17	24.45
TR20	B	-58.35315	-34.57526	1.93	6.14	4.53	117.03	6.78	24.58
TR20	C	-58.34882	-34.58735	1.95	6.14	4.52	113.16	6.23	24.26
TR50	A	-58.36253	-34.56868	2.03	6.14	4.55	110.44	6.17	24.29
TR50	B	-58.35315	-34.57526	2.02	6.14	4.55	116.52	6.78	24.56
TR50	C	-58.34882	-34.58735	2.03	6.14	4.54	113.26	6.23	24.25
TR100	A	-58.36253	-34.56868	2.06	6.14	4.54	110.53	6.17	24.04
TR100	B	-58.35315	-34.57526	2.07	6.14	4.55	116.36	6.78	24.40
TR100	C	-58.34882	-34.58735	2.06	6.14	4.53	113.61	6.23	24.03
TR500	A	-58.36253	-34.56868	2.11	6.14	4.52	111.10	6.17	23.56
TR500	B	-58.35315	-34.57526	2.14	6.14	4.52	116.61	6.78	23.74
TR500	C	-58.34882	-34.58735	2.12	6.14	4.49	114.75	6.23	23.43

Tabla 2.9. Oleaje generado por Viento SSE.

TR (años)	Punto	Longitud (°)	Latitud (°)	Hs (m)	Rtpeak (seg)	Tm01 (seg)	Dir (°)	Depth (m)	Wien (m)
TR 2	A	-58.36253	-34.56868	1.28	4.57	3.92	118.60	6.17	19.24
TR2	B	-58.35315	-34.57526	1.27	4.57	3.77	128.02	6.78	18.34
TR2	C	-58.34882	-34.58735	1.22	4.57	3.69	124.36	6.23	17.21
TR5	A	-58.36253	-34.56868	1.57	5.30	4.27	118.53	6.17	22.13
TR5	B	-58.35315	-34.57526	1.54	5.30	4.10	127.57	6.78	21.12
TR5	C	-58.34882	-34.58735	1.47	5.30	4.02	124.23	6.23	19.82
TR10	A	-58.36253	-34.56868	1.70	5.30	4.38	118.40	6.17	22.99
TR10	B	-58.35315	-34.57526	1.67	5.30	4.24	126.68	6.78	22.27
TR10	C	-58.34882	-34.58735	1.59	5.30	4.15	123.89	6.23	20.91
TR20	A	-58.36253	-34.56868	1.79	5.30	4.43	118.35	6.17	23.30
TR20	B	-58.35315	-34.57526	1.76	5.30	4.32	126.25	6.78	22.93
TR20	C	-58.34882	-34.58735	1.68	5.30	4.22	123.50	6.23	21.45
TR50	A	-58.36253	-34.56868	1.86	5.30	4.45	118.40	6.17	23.43
TR50	B	-58.35315	-34.57526	1.84	5.30	4.37	126.00	6.78	23.24
TR50	C	-58.34882	-34.58735	1.75	5.30	4.27	123.25	6.23	21.82
TR100	A	-58.36253	-34.56868	1.89	5.30	4.46	118.45	6.17	23.42
TR100	B	-58.35315	-34.57526	1.88	5.30	4.40	125.80	6.78	23.43
TR100	C	-58.34882	-34.58735	1.80	5.30	4.30	123.16	6.23	22.01
TR500	A	-58.36253	-34.56868	1.95	6.14	4.46	118.68	6.17	23.28
TR500	B	-58.35315	-34.57526	1.96	6.14	4.44	125.58	6.78	23.57
TR500	C	-58.34882	-34.58735	1.88	6.14	4.33	123.14	6.23	22.17

2.3 Agitación dentro del recinto portuario

La evaluación de diferentes alternativas para la representación del dominio de cálculo requerido para la aplicación del modelo CGWAVE, permitió encontrar una solución acorde a las necesidades del problema bajo estudio. La Figura 2.3 muestra el área de modelación utilizada en esta etapa correspondiente a la Configuración Actual y la Configuración Futura del puerto.

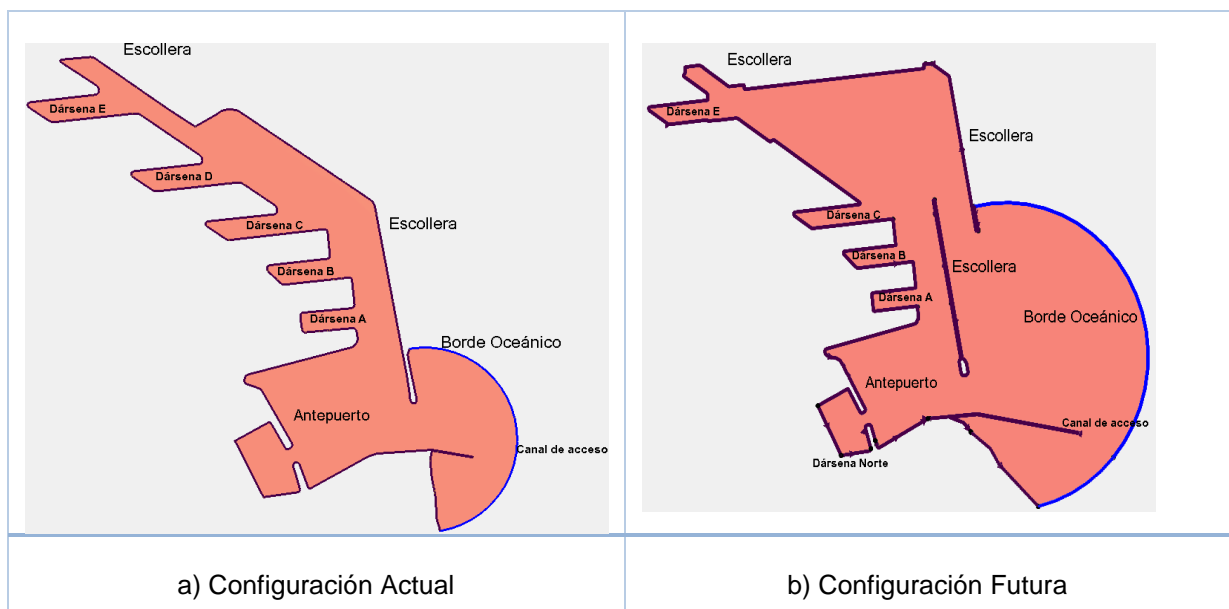


Figura 2.3. Dominios de cálculo para la aplicación de CGWAVE.

El acercamiento del borde oceánico hacia la zona costera (respecto de los dominios de cálculo utilizados en el Primer Informe de Avance) derivó en una reducción importante en el área de modelación, que permitió reducir el tamaño de los elementos (triangulares) que conforman la malla de de cálculo.

La cantidad aproximada de nodos es de 465.000 nodos para las mallas de elementos finitos, con separaciones entre nodos de 2.5 m para la Configuración Actual y 4 m para la Configuración Futura, respectivamente.

El contorno de la región de cálculo fue caracterizado por bordes físicos sobre los cuales se distinguieron sectores de escollera con coeficientes de reflexión $K_r=0.5$, y sectores internos del recinto portuario con muro vertical a los que se asignó un coeficiente de reflexión $K_r=0.95$.

Los escenarios de cálculo utilizados en esta etapa de evaluación consistieron en espectros direccionales del oleaje discretizados en 32 componentes. Para todos los casos, los espectros utilizados tuvieron altura significativa $H_s=1$ m y tiempo de pico $T_p=5$ s, mientras que para la dirección de incidencia se consideraron tres situaciones diferentes: $Dir=90^\circ$ (incidencia del Este), $Dir=60^\circ$ (incidencia del ENE), y $Dir=120^\circ$ (incidencia del ESE).

Con el propósito de comparar resultados entre ambas configuraciones, se dispusieron secciones de control que permiten identificar valores de altura de ola a lo largo de una traza en sectores de especial interés para el estudio. En la Figura 2.4 se muestran las secciones de control seleccionadas para este análisis.

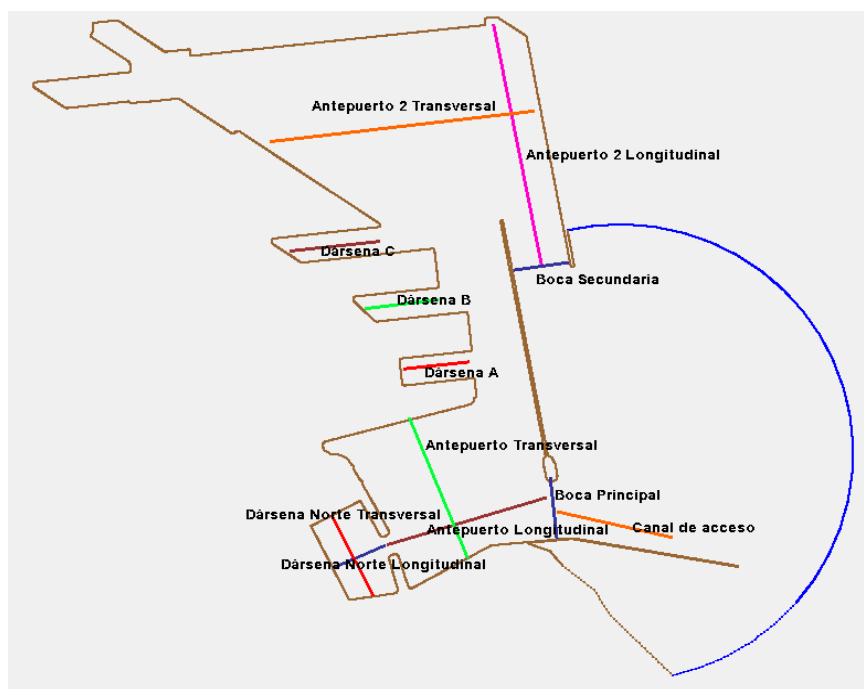


Figura 2.4. Ubicaciones de secciones de control para la observación de resultados

2.3.1 Resultados

En todos los casos, las simulaciones numéricas realizadas con CGWAVE consideraron un nivel de marea coincidente con el valor medio ($N = 0.79$ m MOP). En la Figura 2.5 se

muestran los campos de alturas significativa de olas generados dentro del recinto portuario para ambas configuraciones en el caso de un oleaje incidente desde el Este (Espectro incidente con $H_s = 1$ m y $T_p = 5$ s). En ambas figuras se observan patrones similares en cuanto a la agitación interna. El oleaje ingresante a través de la boca principal se difracta en la zona de Antepuerto y se disipa rápidamente hacia el sector de las dársenas. En el caso de la Configuración Futura puede apreciarse que el oleaje ingresante a través de la boca secundaria resulta sensiblemente menor que el correspondiente a la boca principal, generando en la zona de Antepuerto 2 condiciones de agitación similares al de las dársenas.

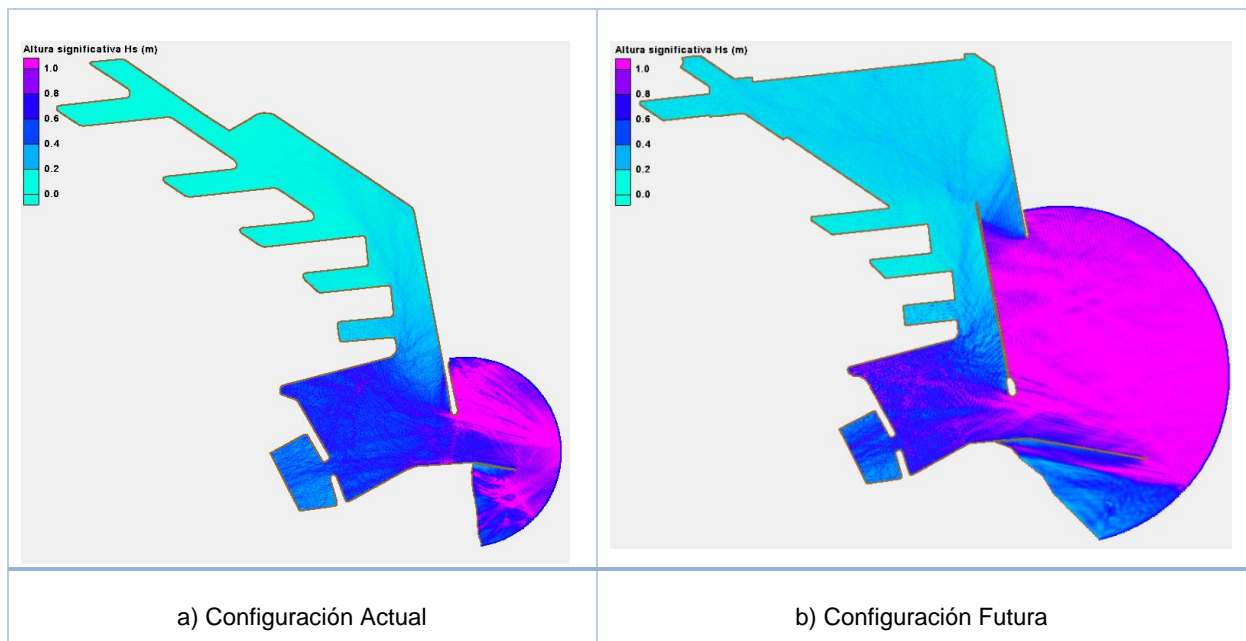


Figura 2.5. Resultado de la modelación de agitación portuaria. Comparación entre campos de H_s generados por oleaje del Este para ambas configuraciones.

En la Figura 2.6, Figura 2.7 y Figura 2.8 se amplía el análisis de los resultados del modelo de agitación, indicándose los valores de altura significativa promedio obtenidos sobre las secciones de control para ambas configuraciones para tres escenarios con diferentes direcciones de incidencia del oleaje externo.

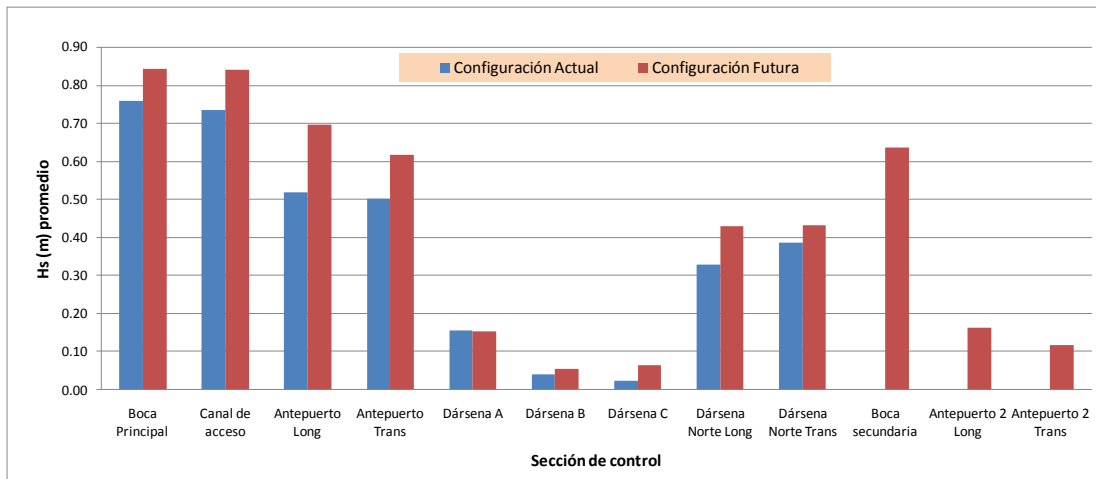


Figura 2.6. Comparación de resultados entre ambas configuraciones con oleaje del Este

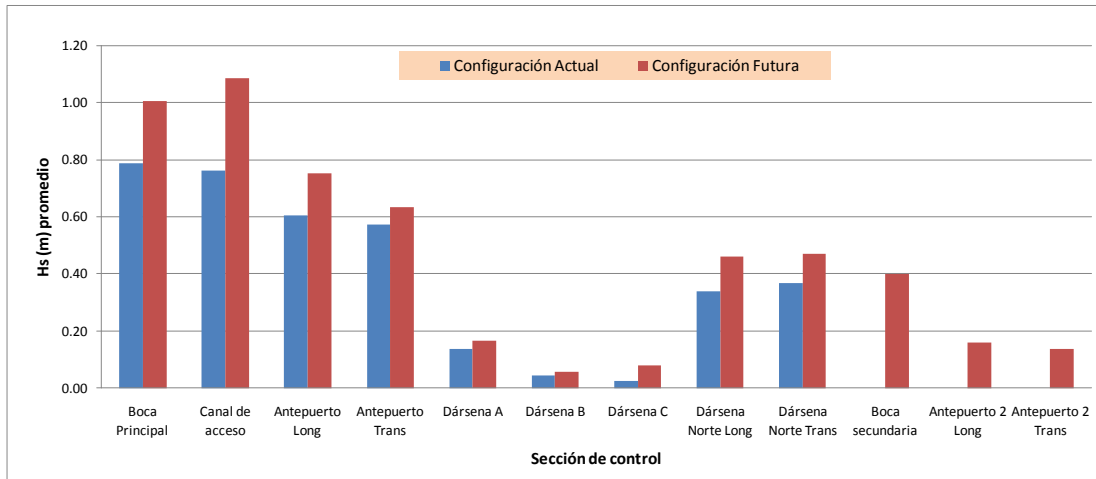


Figura 2.7. Comparación de resultados entre ambas configuraciones con oleaje del ENE

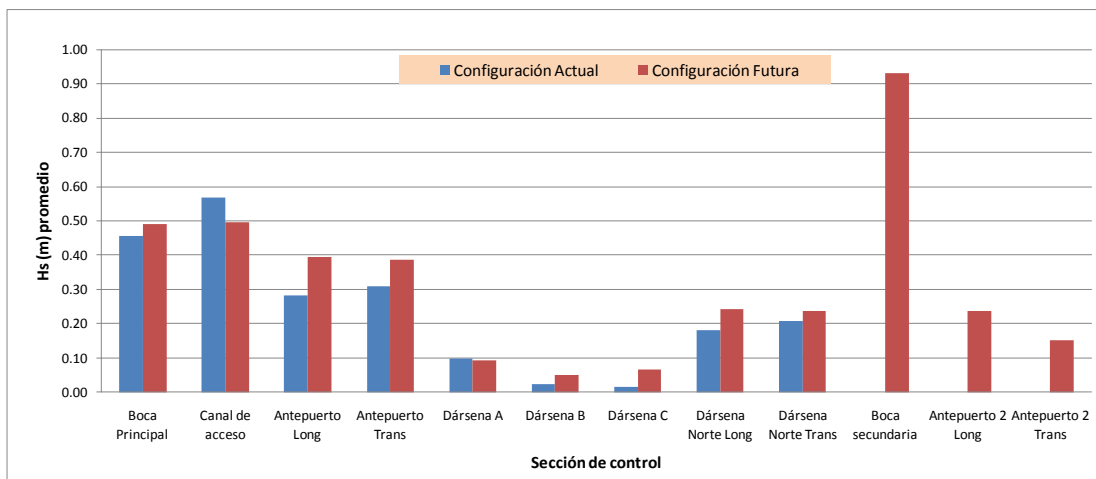


Figura 2.8. Comparación de resultados entre ambas configuraciones con oleaje del ESE

En líneas generales, para los tres escenarios analizados la comparación entre los niveles de agitación en las dos configuraciones muestra valores promedio de Hs similares en las todas secciones de control compartidas por ambas.

Aunque sin mostrar grandes diferencias, los gráficos de estas figuras indican una mayor penetración de energía del oleaje para la Configuración Futura respecto de la Configuración Actual. Esta situación se observa fundamentalmente para el caso de la incidencia del oleaje desde el ENE y, en menor medida, para los casos de Este y el ESE. La justificación para esta observación puede deberse al incremento en la longitud del Espigón Sur en la Configuración Futura, lo que estaría originando una reorientación del oleaje en esa zona, conduciendo una porción mayor de energía hacia la boca principal por efecto de la reflexión.

El caso del escenario ESE representa en la condición más desfavorable para la Configuración Futura debido a la orientación de la boca secundaria. En efecto, la Figura 2.8 señala que hasta esa sección de control llegan olas con altura promedio superior a $H_s=0.9$ m. Sin embargo, los resultados muestran que esos valores disminuyen fuertemente en la zona de acceso al Antepuerto 2, obteniéndose niveles de agitación dentro del mismo que en promedio resultan inferiores a los observados en el Antepuerto actual.

3 IMPACTO HIDRÁULICO

3.1 Consideraciones generales

En el Primer Informe de Avance se presentó:

- Una descripción de la metodología de modelación hidrodinámica regional.
- Su implementación y validación para el problema bajo estudio.
- Su aplicación para determinar tres indicadores de impacto hidráulico de la configuración portuaria proyectada respecto de la actual, para condiciones hidrodinámicas normales, a saber:
 - Módulo de la diferencia de velocidades, que es un indicador del cambio tanto de la intensidad como de la dirección de la velocidad. Este indicador es significativo para analizar impactos sobre la navegación.
 - Diferencia del módulo de las velocidades, que es un indicador del cambio de intensidad de la velocidad. Este indicador también es relevante para analizar afectación a la navegación.
 - Diferencia del factor de Krone, que es un indicador del cambio en la tasa de sedimentación.

En ese Informe, de tipo preliminar, los valores de los indicadores de impacto hidráulico fueron obtenidos para dos instantes particulares dentro de la onda de marea representativa de condiciones normales (vientos leves), uno de bajante y otro de creciente del Río de la Plata.

En este Segundo Informe de Avance se recalculan los dos primeros indicadores para las dos situaciones hidrodinámicas más crítica en cuanto a extensión de la zona de impacto, una asociada a bajante y la otra a creciente, ambas para los instantes de máxima velocidad. En el caso del indicador de sedimentación, ahora se utilizó su valor medio temporal en lugar de valores instantáneos, lo cual resulta más representativo del fenómeno al tener en cuenta el efecto acumulativo.

Adicionalmente, en este Segundo Informe de Avance se presentan los resultados de los indicadores de impacto para dos condiciones hidrodinámicas extremas, a saber, crecida extraordinaria por Sudestada y bajante extraordinaria.

3.2 Condiciones normales

Para el análisis de indicadores de impacto en condiciones normales se consideró el ciclo de mareas del 19 de mayo de 2000. La onda considerada tiene una amplitud de aproximadamente 0,80 m alrededor del nivel medio del Río de la Plata a la altura de la ciudad de Buenos Aires.

La Figura 3.1 muestra el indicador de cambio de velocidad para las fases de creciente y bajante. Se observa que las variaciones más significativas se dan sobre el borde E del nuevo recinto portuario, con un valor máximo menor a 0,50 m/s, del cual cae rápidamente a valores menores a 0,20 m/s, especialmente en la fase de creciente. Si se adopta como criterio un umbral de cambio de 0,05 m/s para definir el límite práctico de la zona de impacto, surge que su extensión es de aproximadamente 4.700 m en la dirección longitudinal y 3.700 m en la dirección lateral para la fase de creciente, incrementándose a 6.600 m y 4.000 m, respectivamente, para la fase de bajante. Las variaciones son menores a 0,05 m/s sobre el tramo de Canal de Acceso Norte afectado, mientras que prácticamente no se observan cambios sobre el Canal Mitrey el Canal de Acceso Sur.

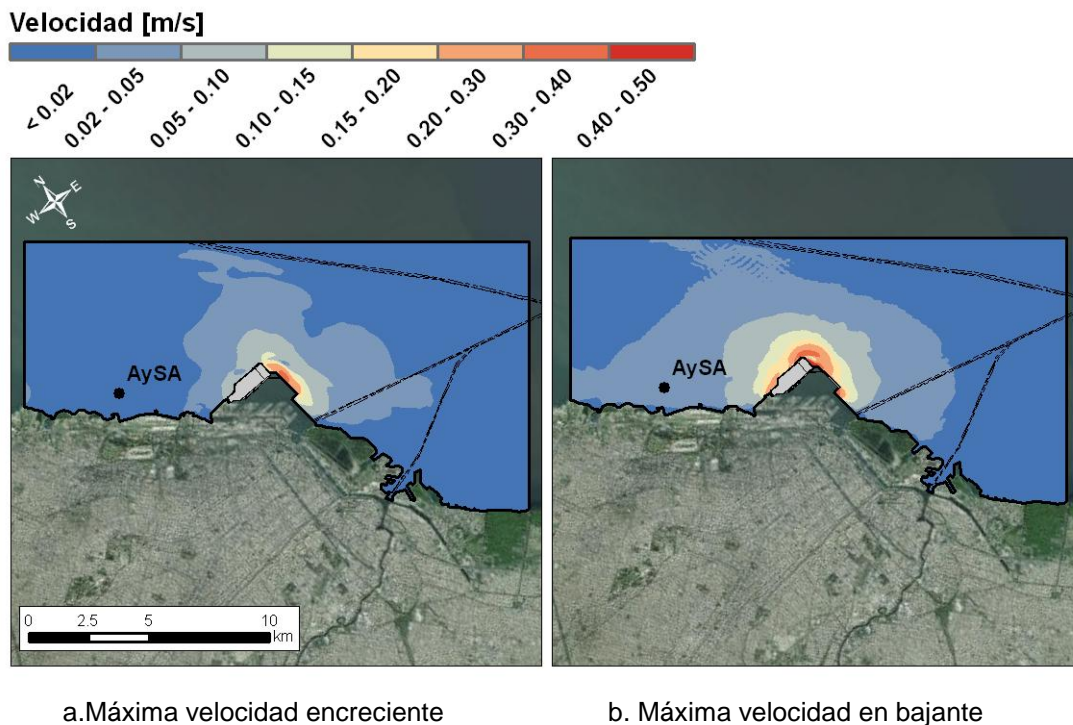
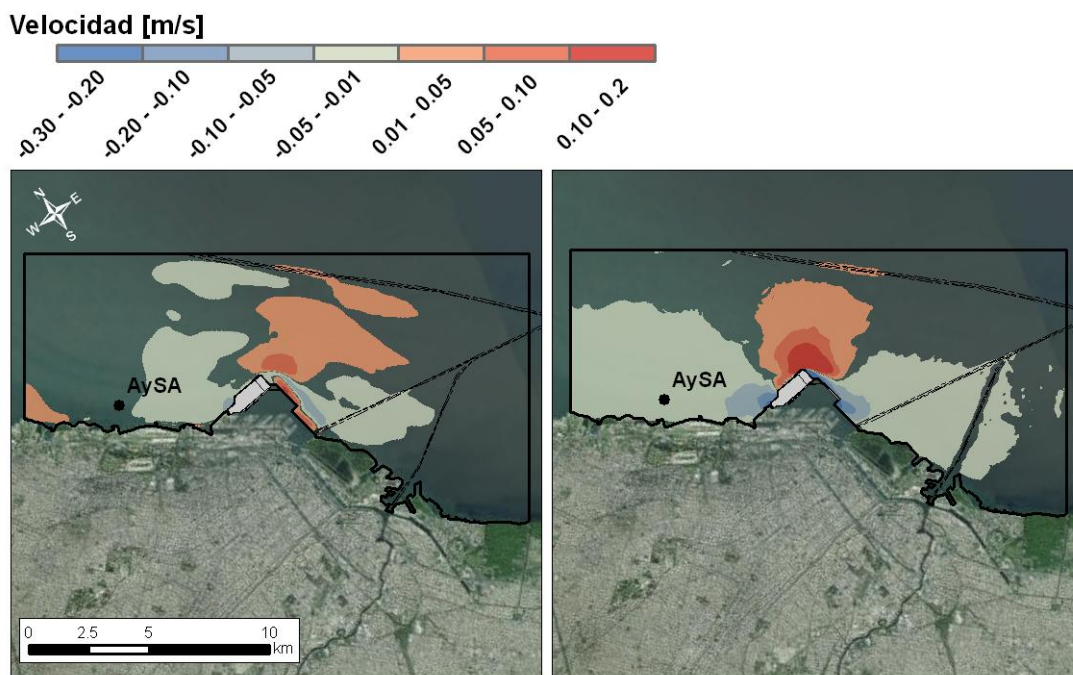


Figura 3.1. Indicador de cambio de velocidad. Condiciones normales.

Para el indicador de cambio del módulo de la velocidad (Figura 3.2), se observan tres lóbulos: dos con variaciones negativas hacia el NO y el SE del recinto portuario, y el restante con cambio positivo hacia el NE. Las mayores diferencias positivas tienen su epicentro en torno al vértice NE del recinto portuario, aunque también desarrolla una franja sobre el contorno E. Los valores máximos de cambio son, en valor absoluto, menores al del indicador de cambio de velocidad, alcanzando hasta 0,10 m/s en creciente y 0,20 m/s en bajante. Esto significa que los cambios en la intensidad de la velocidad son menores que las variaciones en la dirección de las corrientes, fuertemente afectadas por el cambio geométrico. Sobre tramos del Canal de Acceso Norte y de Acceso Sur se producen disminuciones de velocidad no superiores a 0,05 m/s, mientras que hay aumentos menores a 0,05 m/s sobre un tramo del Canal Emilio Mitre. Las extensiones de los tres lóbulos, considerando nuevamente un valor umbral de 0,05 m/s, se indican en la Tabla 3.1.



a. Máxima velocidad en creciente

b. Máxima velocidad en bajante

Figura 3.2. Indicador de cambio de módulo de la velocidad. Condiciones normales.

Tabla 3.1. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Condiciones normales. Valor umbral +/- 5cm/s

Fase	Lóbulo NO		Lóbulo SE		Lóbulo NE	
	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
Creciente	2.700	1.900	1.900	1.900	2.400	1.400
Bajante	2.500	1.600	4.800	2.600	3.000	2.200

El indicador de sedimentación (Figura 3.1) muestra diferencias positivas (mayor sedimentación) hacia aguas arriba (NO) y aguas abajo (SE) del recinto portuario, mientras que las negativas (menor sedimentación) se ubican sobre un área sensiblemente menor hacia el lateral del puerto (NE), donde hay un incremento de las velocidades. Este patrón es consistente con el de cambio del módulo de la velocidad, ya que estas son menores sobre los lóbulos NO y SE, incentivando la sedimentación, y viceversa sobre el lóbulo NE. Se observa que el aumento de sedimentación en el tramo impactado del Canal de Acceso Norte es algo superior a 0,1 (10%). En la Tabla 3.2 se resumen las extensiones de impacto de los dos lóbulos de aumento de sedimentación, tomando como umbral un valor de 0,1.

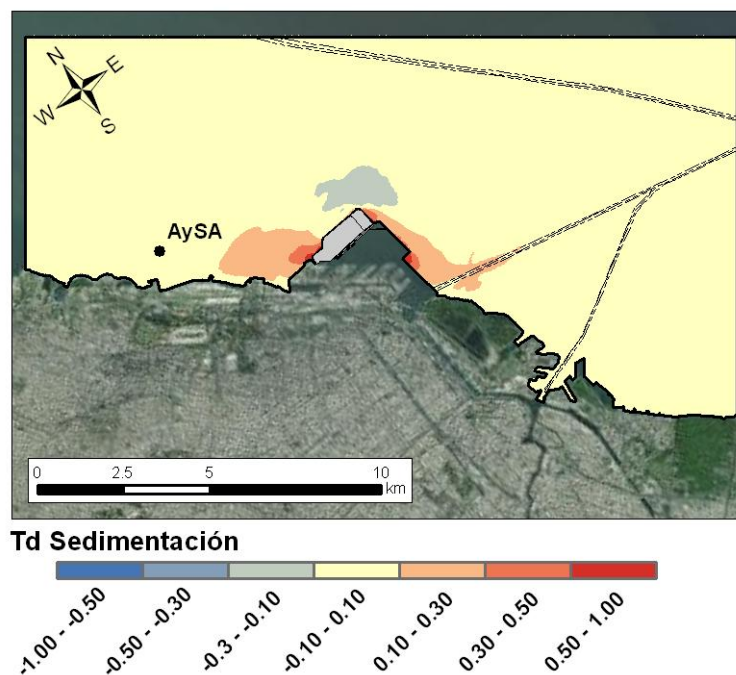


Figura 3.3. Indicador de cambio de tasa de sedimentación. Condiciones normales.

Tabla 3.2. Extensión de la zona de impacto. Cambio de tasa de sedimentación. Condiciones normales.

Lóbulo NO		Lóbulo SE	
Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
2.700	1.700	4.200	2.500

3.3 Condiciones de Sudestada

La Sudestada es un fenómeno que se localiza en la región del Río de la Plata y su Frente Marítimo, y está caracterizada por vientos persistentes, regulares a fuertes, del sector Sudeste. Debido a la orientación del eje del Río de la Plata, cuando se da este tipo de campos de vientos el nivel de agua aumenta.

Para el análisis de indicadores de impacto se consideró el evento de Sudestada de mayo de 2000 (14 al 19 de mayo).

La Figura 3.4 presenta los resultados del indicador de cambio de velocidad para los instantes de máxima velocidad en creciente y máxima velocidad en bajante durante los procesos de desarrollo y recesión de la Sudestada, respectivamente. El patrón de cambio es esencialmente similar al de condiciones normales (Figura 3.1), pero más comprimido, y con los epicentros algo desplazado hacia el N en el caso de creciente, y hacia el S en el caso de bajante, seguramente como fruto de velocidades más intensas. Adoptando como valor umbral a 0,05 m/s, la extensión de la zona de impacto resulta de aproximadamente 4.200 m en la dirección longitudinal y 3.000 m en la lateral durante la fase de creciente, incrementándose a 6.100 m y 3.800 m, respectivamente, durante la fase de bajante. La afectación al tramode Canal de Acceso Norte permanecería similar a la de condiciones normales, con variaciones son menores a 0,05 m/s, pero tendería a desaparecer para la fase de creciente. El Canal Mitre y el Canal de Acceso Sur permanecerían sin afectación.

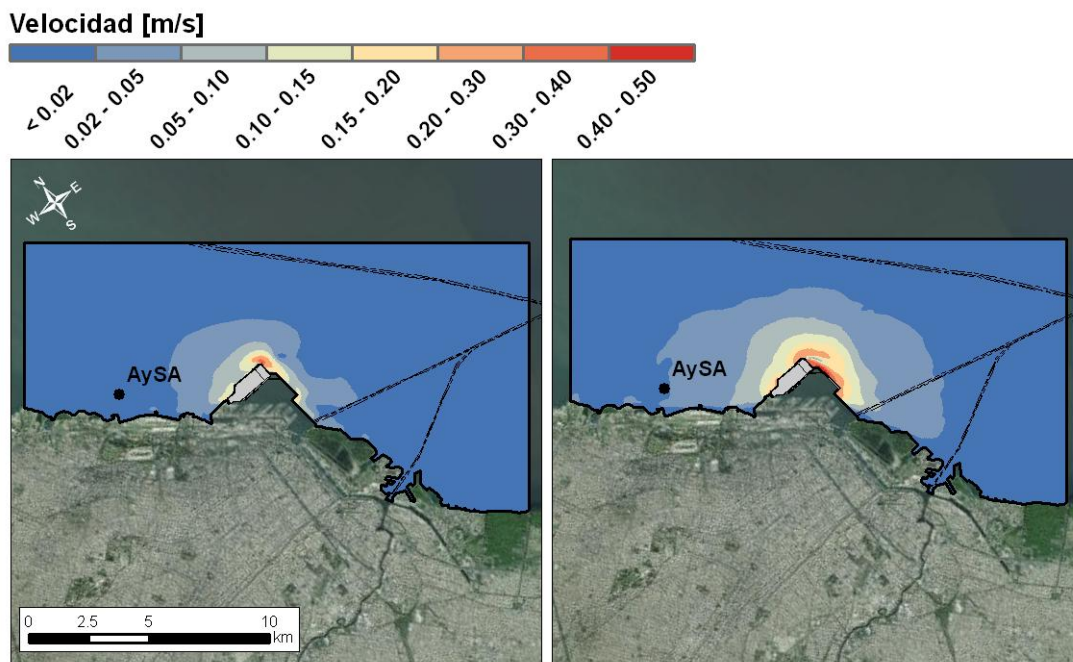


Figura 3.4. Indicador de cambio de velocidad. Condición de sudestada.

El indicador de cambio del módulo de la velocidad (Figura 3.5) presenta la misma estructura de tres lóbulos que para condiciones normales. Los epicentros de variación positiva se desplazan levemente hacia aguas arriba en creciente, y hacia aguas abajo en bajante. Los valores máximos de cambio se encuentran, en valor absoluto, por debajo de 0,20 m/s tanto en creciente como en bajante. Las afectaciones a los canales de navegación permanecen esencialmente similares al caso de condiciones normales, aunque no se observan variaciones sobre el Canal Emilio Mitre para creciente. En la Tabla 3.3 se indican las extensiones máximas de cada uno de los lóbulos en creciente y en bajante.

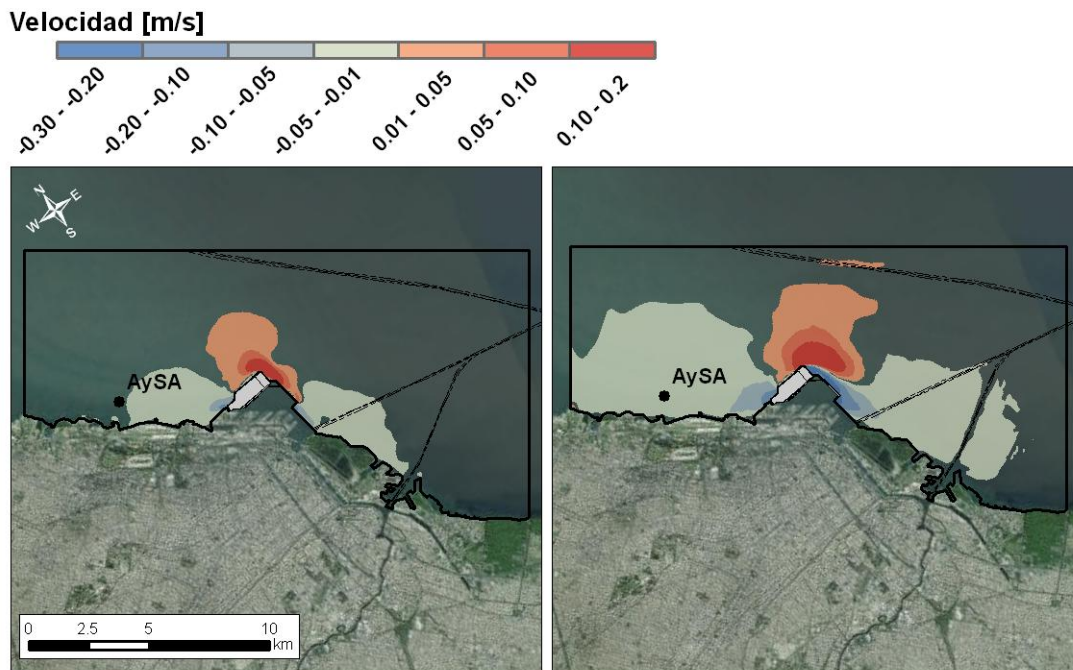


Figura 3.5. Indicador de cambio del módulo de la velocidad. Condición de sudestada.

Tabla 3.3. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Condición de sudestada. Valor umbral +/- 5cm/s

Fase	Lóbulo NO		Lóbulo SE		Lóbulo NE	
	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
Creciente	550	630	1.800	2.000	1.500	800
Bajante	2.300	1.500	2.700	2.100	2.700	2.500

El indicador de sedimentación (Figura 3.6) muestra también dos lóbulos de aumento de sedimentación y uno de disminución. Se observa una expansión de los lóbulos de incremento de la sedimentación y una leve contracción del lóbulo de decremento de la sedimentación. No se observa una diferencia significativa en la afectación del Canal de Acceso Norte respecto de condiciones normales, con un valor algo superior a 0,1 (10%). En la Tabla 3.4 se resumen las extensiones de impacto para los lóbulos de aumento de sedimentación, tomando como valor umbral 0.1. De todos modos, téngase en cuenta que este aumento de sedimentación se refiere al evento de sudestada, que constituye una ventana de tiempo relativamente menor dentro del proceso general de sedimentación anual.

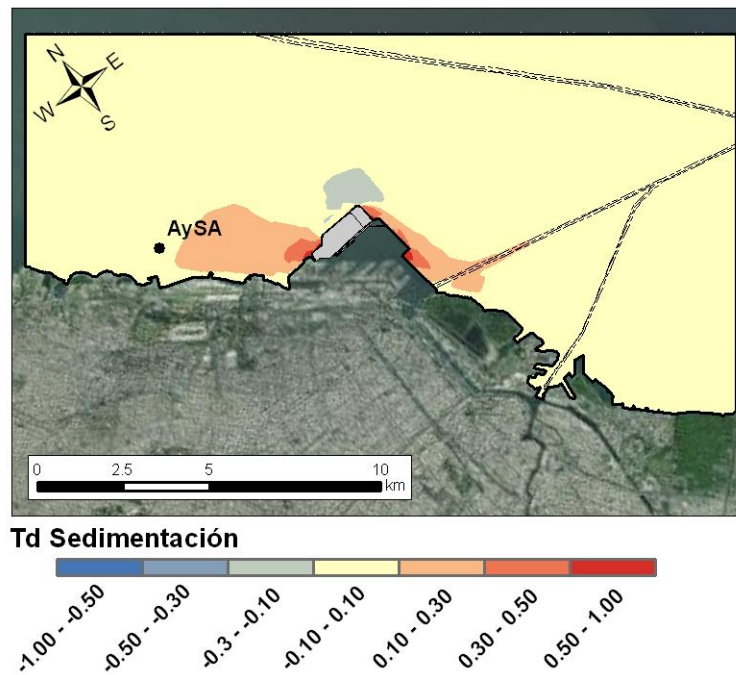


Figura 3.6. Indicador de cambio de tasa de sedimentación. Condición de sudestada.

Tabla 3.4. Extensión de la zona de impacto. Cambio de tasa de sedimentación. Escenario Sudestada.

Lóbulo NO		Lóbulo SE	
Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
4.300	2.400	4.600	2.300

3.4 Condiciones de bajante extraordinaria

Los eventos de bajante extraordinaria se registran a raíz de la persistencia de vientos fuertes de los sectores Nornoroeste, Norte o Nornordeste sobre el Río de la Plata.

Para el análisis de indicadores de impacto se consideró el evento de bajante denoviembre del 2002 (9 al 11 de noviembre).

La Figura 3.7 presenta los resultados del indicador de cambio de velocidad para los instantes de máxima velocidad en creciente y máxima velocidad en bajante durante los procesos de desarrollo y recesión de la bajante extraordinaria, respectivamente. El patrón de cambio ahora es algo más expandido que para condiciones normales (Figura 3.1). Los epicentros se desplazan algo más que en sudestada sobre el contorno portuario (como fruto de mayores velocidades), esta vez hacia el O en el caso de creciente, observándose además una expansión en el caso de bajante. Las extensiones de impacto, adoptando un umbral de 0,05 m/s, resultan de aproximadamente 10.300 m en la dirección longitudinal y 5.100 m en la lateral para la fase de bajante, y de 6.900 m y 4.000 m, respectivamente, para la fase de creciente. Se incrementan los efectos sobre el Canal de Acceso Norte en bajante, tanto en extensión como en intensidad, con variaciones ahora menores a 0,10 m/s. Aparecen afectaciones menores a 0,05 m/s sobre tramos del Canal Mitre y del Canal de Acceso Sur, aunque sólo en bajante para este último.

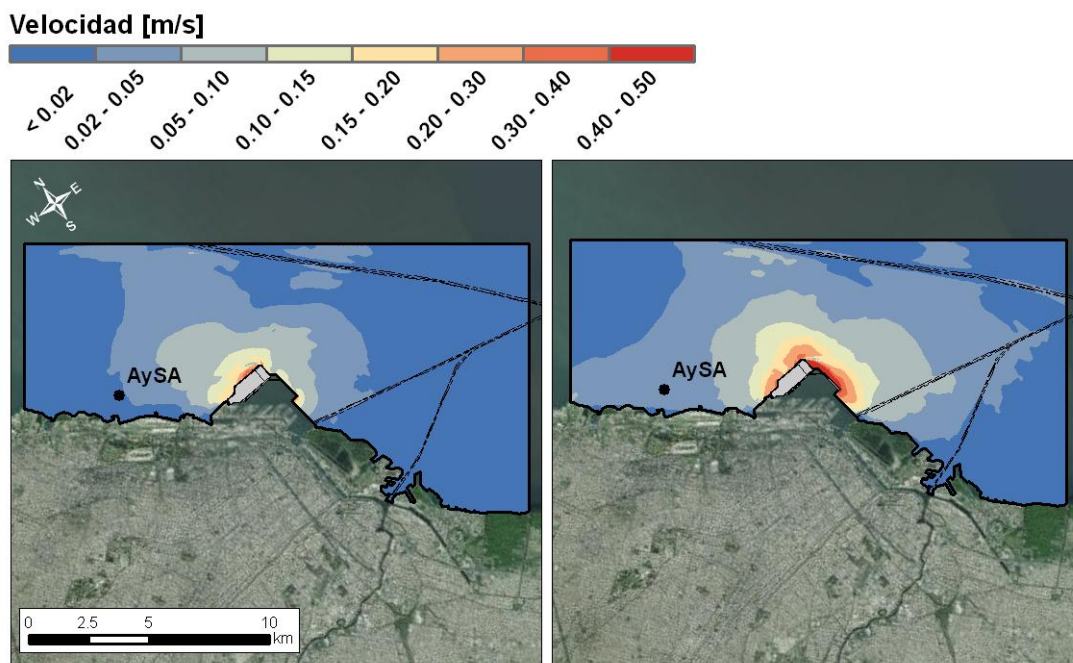
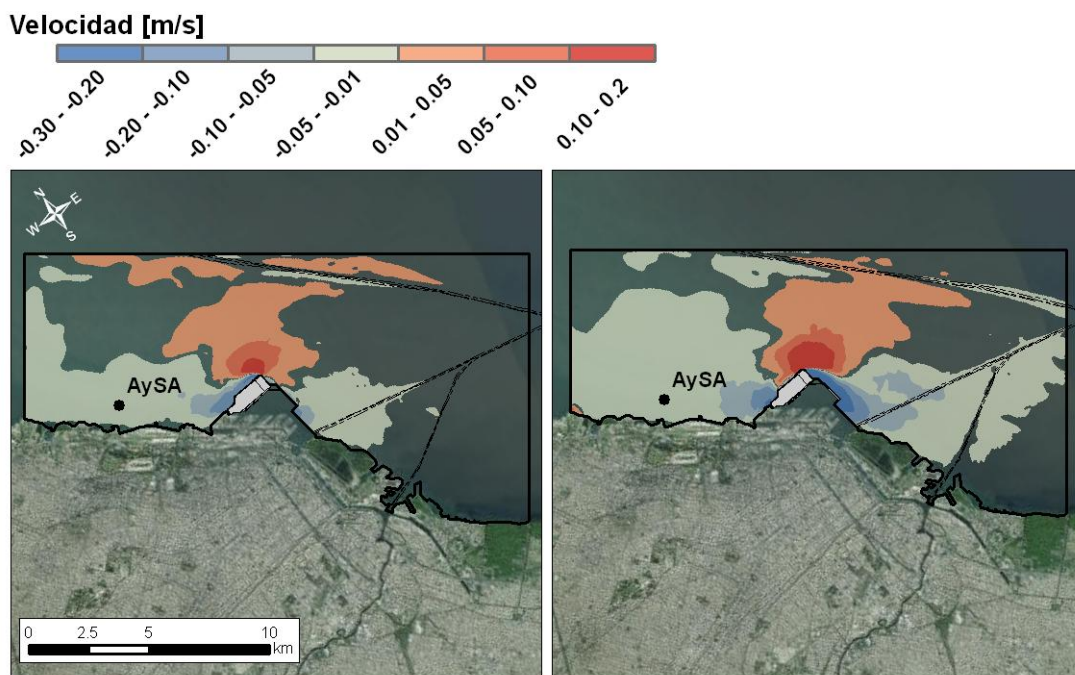


Figura 3.7. Indicador de cambio de velocidad. Condición de bajante extraordinaria.

El indicador de cambio del módulo de la velocidad (Figura 3.8) presenta nuevamente la estructura de tres lóbulos. Los epicentros no sufren desplazamientos significativos respecto de las condiciones anteriores. Los valores máximos de cambio pueden alcanzar ahora disminuciones de hasta 0,30 m/s en bajante. El tramo de Canal de Acceso Norte afectado puede sufrir decrementos de velocidad de hasta 0,10 m/s. En la Tabla 3.5 se indican las extensiones máximas de cada uno de los lóbulos en las fases de bajante y creciente.

Tabla 3.5. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Condición de bajante extraordinaria. Valor umbral +/- 5cm/s

Fase	Lóbulo NO		Lóbulo SE		Lóbulo NE	
	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
Bajante	2.000	1.400	3.000	2.200	3.000	2.100
Creciente	1.100	730	900	900	2.400	1.700



a. Máxima velocidad en creciente

b. Máxima velocidad en bajante

Figura 3.8. Indicador de cambio del módulo de la velocidad. Condición de bajante extraordinaria.

El indicador de sedimentación (Figura 3.9) muestra una contracción de los lóbulos de incremento de la sedimentación y la desaparición del lóbulo de decremento de la sedimentación. Disminuye levemente el tramo afectado del Canal de Acceso Norte, con incrementos de hasta 0,1. En la Tabla 3.6 se resumen las extensiones de impacto, tomando como valor umbral 0.1. De todos modos, téngase en cuenta que este aumento de sedimentación se refiere al evento de bajante extraordinaria, que constituye una ventana de tiempo relativamente menor dentro del proceso general de sedimentación anual.

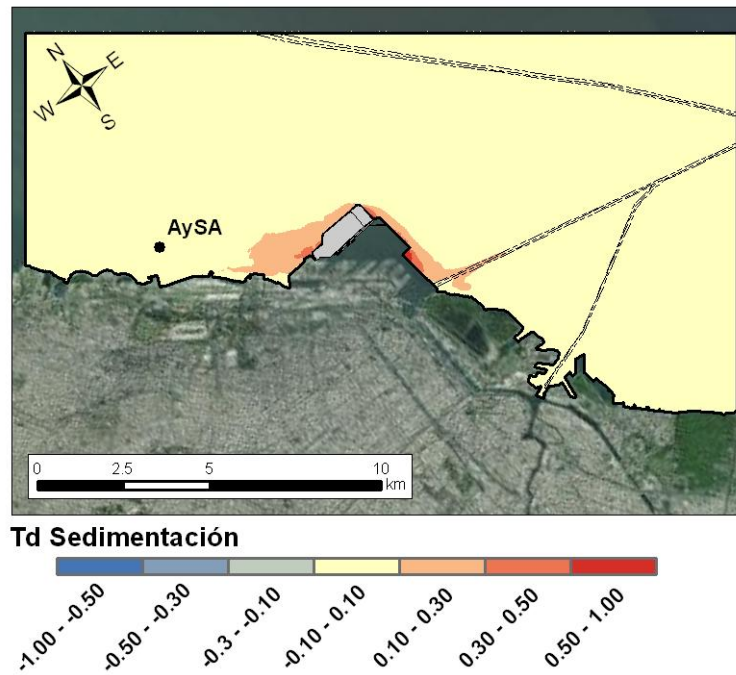


Figura 3.9. Indicador de cambio de tasa de sedimentación. Condición de bajante.

Tabla 3.6. Extensión de la zona de impacto. Cambio de tasa de sedimentación. Escenario de bajante extraordinaria.

Lóbulo NO		Lóbulo SE	
Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
2.300	1.300	2.600	2.300

3.5 Comparación de resultados

La Tabla 3.7 resume las extensiones de cambio de velocidad para las fases de creciente y bajante, con un valor umbral de 0,05 m/s, para los tres escenarios estudiados. Se observa que los mayores valores se dan durante la bajante extraordinaria, y las menores durante la sudestada, aunque las diferencias entre esta última situación y las condiciones normales no son muy significativas.

Tabla 3.7. Extensión de la zona de impacto de cambio de dirección de velocidad para distintos escenarios. Valor umbral 5 cm/s.

Condiciones	Máxima velocidad de creciente		Máxima velocidad de bajante	
	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
Normales	4.700	3.700	6.600	4.000
Sudestada	4.200	3.000	6.100	3.800
Bajante Extraordinaria	6.900	4.000	10.300	5.100

En la Tabla 3.8 y Tabla 3.9 se resumen las extensiones de cada uno de los lóbulos del cambio del módulo de la velocidad para las fases de creciente y bajante, respectivamente, con un umbral de +/- 5 cm/s, para los tres escenarios estudiados. Se observa que, para este indicador, en la fase de creciente los mayores valores se dan en condiciones normales y los menores durante la sudestada, mientras que para la bajante extraordinaria los valores son intermedios o cercanos a los de condiciones normales. En la fase de bajante los valores son más parejos.

Tabla 3.8. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Máxima velocidad de creciente. Valor umbral +/- 5cm/s

Condiciones	Lóbulo NO		Lóbulo SE		Lóbulo NE	
	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
Normales	2.700	1.900	1.900	1.900	2.400	1.400
Sudestada	550	630	1.800	2.000	1.500	800
Bajante Extraordinaria	1.100	730	900	900	2.400	1.700

Tabla 3.9. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Máxima velocidad de bajante. Valor umbral +/- 5cm/s

Condiciones	Lóbulo NO		Lóbulo SE		Lóbulo NE	
	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
Normales	2.500	1.600	4.800	2.600	3.000	2.200
Sudestada	2.300	1.500	2.700	2.100	2.700	2.500
Bajante Extraordinaria	2.000	1.400	3.000	2.200	3.000	2.100

La Tabla 3.10 resume las extensiones de los lóbulos de aumento de sedimentación, con un umbral de 0,1, para los tres escenarios estudiados. Se observa que, en general, resultan mayores para la sudestada y menores para la bajante extraordinaria.

Tabla 3.10. Extensión de la zona de impacto. Cambio de tasa de sedimentación. Valor umbral 0,1.

Condiciones	Lóbulo NO		Lóbulo SE	
	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]	Extensión longitudinal [m]	Extensión lateral [m]
Normales	2.700	1.700	4.200	2.500
Sudestada	4.300	2.400	4.600	2.300
Bajante Extraordinaria	2.300	1.300	2.600	2.300

3.6 Discusión

El cambio de configuración portuaria, con su avance sobre el entorno costero, producirá un impacto hidráulico sobre ese entorno, que se manifestará en cambios en las velocidades de corriente y en las tasas de sedimentación. Siendo la extensión del puerto del orden de los 4 km, la zona de influencia resultará del mismo orden de magnitud, aunque los impactos significativos se extenderán sobre una franja mucho más acotada adyacente al contorno portuario.

La extensión de la zona de impacto dependerá de las condiciones hidrodinámicas del Río de la Plata. La situación de referencia más significativa es la de condiciones normales (vientos leves), pero resulta relevante conocer la respuesta para condiciones extremas de creciente (asociadas a sudestadas) y de bajante extraordinaria.

Los cambios en las velocidades de corriente podrían potencialmente afectar en forma directa a la navegación; en particular, a la navegación comercial, que se desplaza a lo largo de los canales de navegación. Los resultados de la modelación muestran que la máxima

afectación a algunos tramos limitados de los canales Mitre, de Acceso Norte y de Acceso Sur, tanto por cambio de dirección como por cambio de intensidad de las corrientes, será menor a 5 cm/s, lo cual se considera un efecto muy bajo. Para una bajante extraordinaria pueden esperarse variaciones de hasta 0,10 m/s durante la fase de bajante, lo cual tampoco se considera muy significativo, más aun teniendo en cuenta que se trata de hechos eventuales.

Por su parte, la expansión del recinto portuario producirá zonas de 'sombra' hacia aguas arriba (durante las crecientes) y aguas abajo (durante las bajantes), donde se incrementará la tasa de sedimentación debido a la disminución de velocidades de corriente. Los resultados de la modelación muestran que, salvo en zonas muy limitadas adyacentes al contorno portuario, los incrementos en la tasa de sedimentación serán de a lo sumo el 30% sobre esa zona del Río de la Plata. La tasa de sedimentación actual se estima del orden de 1 mm/mes², es decir, muy baja. Esta se incrementaría como máximo a 1,3 mm/mes, que seguiría siendo muy baja.

En el caso particular de los canales de Acceso Norte y Sur, el incremento máximo esperado en la tasa de sedimentación sobre los tramos afectados es algo superior al 10%. Dado que la tasa de sedimentación en esos canales es del orden de 1,8 mm/día³, esto significa que podrían incrementarse al orden de 2 mm/día. Esto no se considera un impacto muy significativo en la necesidad de dragado para mantener el calado.

²Fossati, M., "Dinámica global de sedimentos finos en el Río de la Plata", Tesis de Doctorado en Ingeniería - Mecánica de los Fluidos Aplicada, Facultad de Ingeniería – Universidad de la República, Montevideo, Uruguay, 2013

³Gomez Mahne, S.A., Pinedo, S.M., Peyregne, M.L., "Estudio y estimación de la sedimentación en los en los en los Canales Norte y Acceso a Puerto Buenos Aires", IX Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria, Buenos Aires, 5-7 Septiembre 2016

4 HIDRODINÁMICA DEL PUERTO

4.1 Consideraciones generales

En el Primer Informe de Avance se presentó:

- La implementación y validación de la modelación hidrodinámica local para el problema bajo estudio.
- Su aplicación para determinar las corrientes en el puerto para condiciones hidrodinámicas normales y dos configuraciones portuarias.

En este Segundo Informe de Avances describe la metodología de modelación hidrodinámica local utilizada, se presentan resultados de corrientes luego de efectuar ajustes en la configuración actual y futura del puerto, y se muestran resultados preliminares considerando la estratificación térmica provocada por el proceso de refrigeración de las centrales térmicas.

4.2 Metodología de modelación hidrodinámica local

Para la simulación de la hidrodinámica y de la dinámica sedimentaria se aplicó el sistema de modelación Delft3D, desarrollada por Deltares – DelftHydraulics en los Países Bajos, y perfeccionada a través de una serie de versiones evolutivas a lo largo de los últimos 20 años. Este programa incorpora los efectos de las mareas, los vientos, la presión atmosférica, las diferencias de densidad (debido a la salinidad y temperatura), las olas y la turbulencia, y permite la simulación del flujo en dos (2D) y tres (3D) dimensiones espaciales con o sin transporte de sedimentos, teniendo en cuenta una morfología variable o fija. El esquema numérico de resolución es en diferencias finitas, utilizando coordenadas rectangulares o curvilíneas. Permite además la generación de un dominio de cálculo con mallas de diferentes grados de refinamiento⁴.

El modelo hidrodinámico (Módulo FLOW) resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes sobre una malla curvilínea, asumiendo las hipótesis de Boussinesq. El conjunto de ecuaciones diferenciales en derivadas parciales, en combinación con un apropiado conjunto de condiciones iniciales y de contorno, es resuelto en una malla de diferencias finitas utilizando el método RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes). Las fluctuaciones turbulentas se incluyen en el modelo por medio de los esfuerzos de Reynolds, definidos a través de

⁴Paolo Gyssels, C. Marcelo Baldissoni, Gerardo Hillman, Andrés Rodríguez, Javier Bosc, Mariano Corral, Mariana Pagot, Daniel Brea, Pablo Spalletti, Hector Daniel Farias, “Aplicaciones del Modelo Numérico Delft3D a diferentes problemas hidrosedimentológicos en casos Argentinos”, Mecánica Computacional Vol. XXVIII ISSN 1666-6070, p. 2757 – 2777. Mendoza; 2013.

modelos de cierre de turbulencia (k-l, k-ε, etc.). En las simulaciones 3D la dirección vertical se discretiza con coordenadas tipo sigma (σ), donde las capas se dividen proporcionalmente y están limitadas por dos planos, de los cuales uno se aproxima a la superficie libre del agua y el otro a la topografía del fondo.

El código Delft3D permite simular el transporte de sedimentos, dando la posibilidad de elegir tanto su forma de transporte (suspendido o de fondo) como el tipo de sedimento (cohesivo o no cohesivo). El método predeterminado que utiliza el Delft3D está asociado a las fórmulas de Van Rijn⁵, pudiéndose también especificar otro tipo de formulaciones.

4.3 Configuración actual

En los ensayos preliminares efectuados para el Primer Informe Parcial faltaba materializar la ataguía que evita que la descarga térmica de la Central Nuevo Puerto ingrese en el recinto portuario. A continuación se presenta una actualización de los resultados con esa corrección.

La Figura 4.1 presenta la configuración actual de escolleras junto con la configuración proyectada.

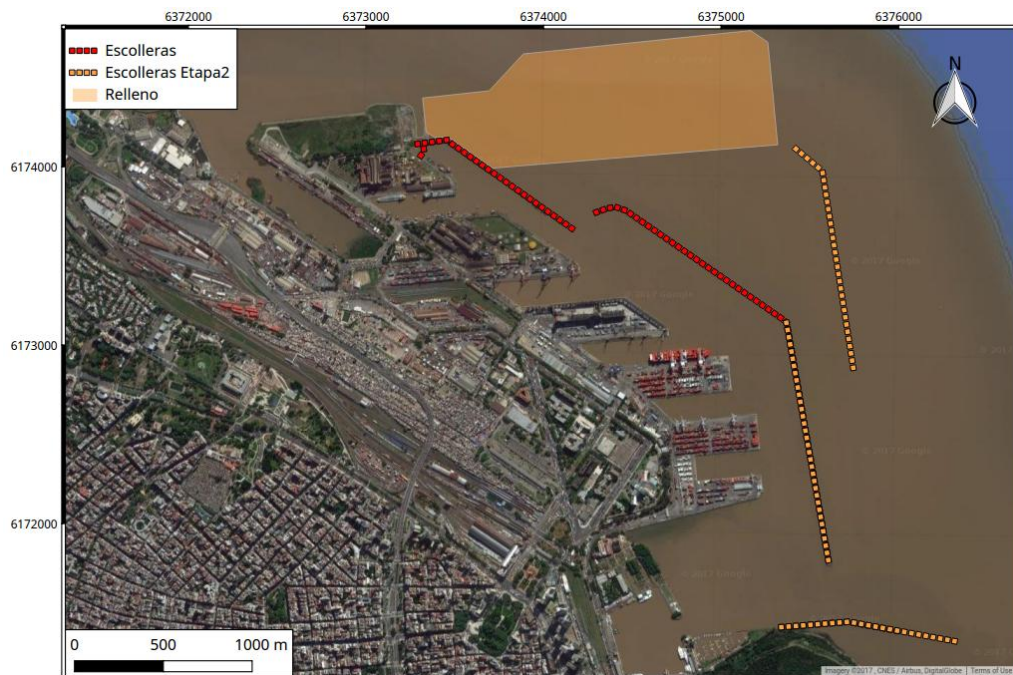


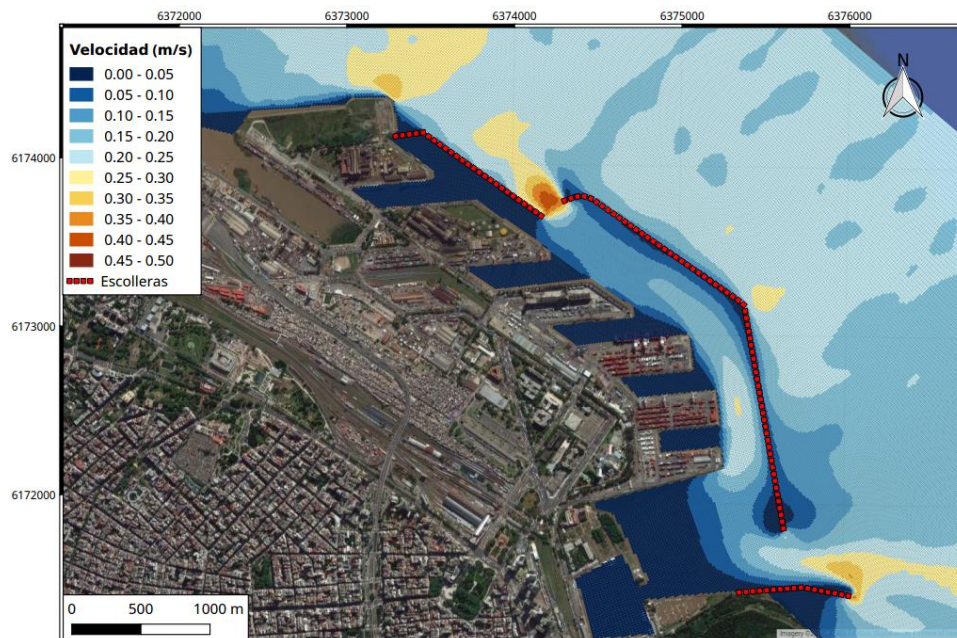
Figura 4.1. Configuración de escolleras actual y futura

⁵Van Rijn. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Amsterdam: Aqua Publications – 111. ISBN 90-800356-2-9, 1993.

La Figura 4.2 muestra los campos de velocidad para un instante de creciente y uno de bajante para condiciones hidrodinámicas normales. Por su parte, en la Figura 4.3 se presenta la evolución temporal del nivel y la velocidad de corriente en la boca principal y en la boca falsa del puerto. Se observa que las velocidades máximas en la boca principal apenas superan los 0,20 m/s, mientras que en la boca falsa llegan hasta casi 0,45 m/s.

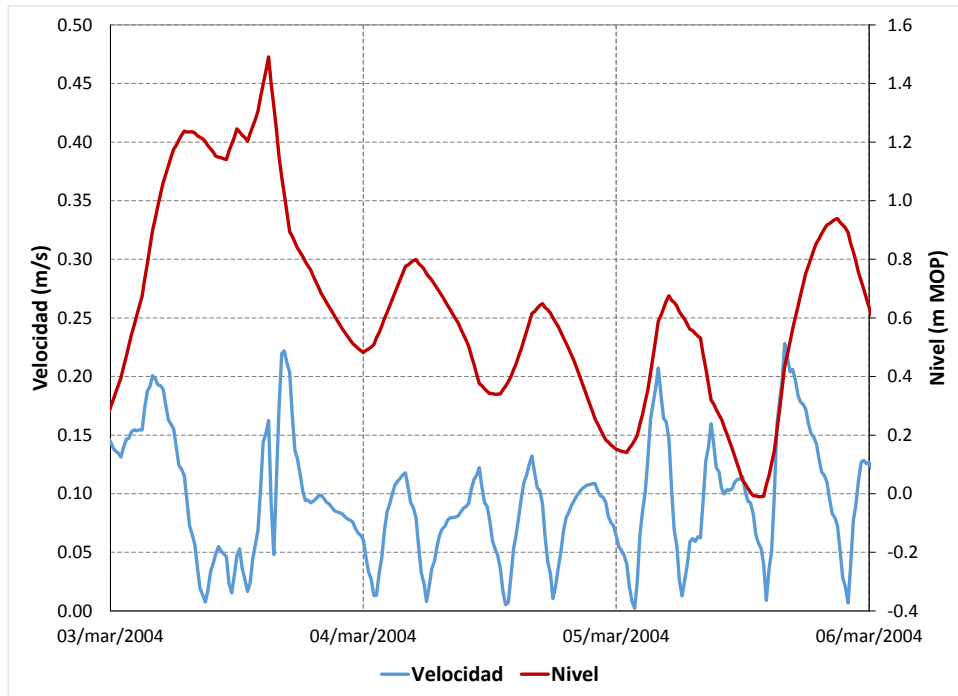


a. Bajante

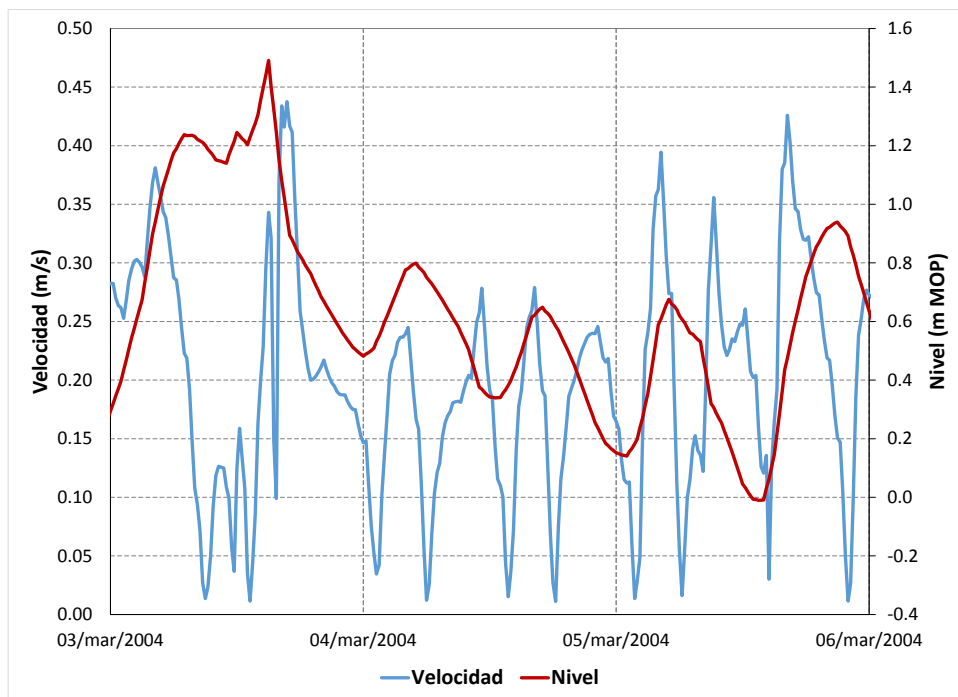


b. Creciente

Figura 4.2. Campos de velocidades para la situación actual.



a. Boca principal



b. Boca falsa

Figura 4.3. Series de velocidad para condición actual y condiciones hidrodinámicas normales.

La Figura 4.4 muestra un detalle de la zona de dársenas, donde se aprecian algunas recirculaciones de relativamente baja intensidad (velocidades menores a 5cm/s), en las dársenas A, B y C. Las mismas corresponden a un instante de creciente.

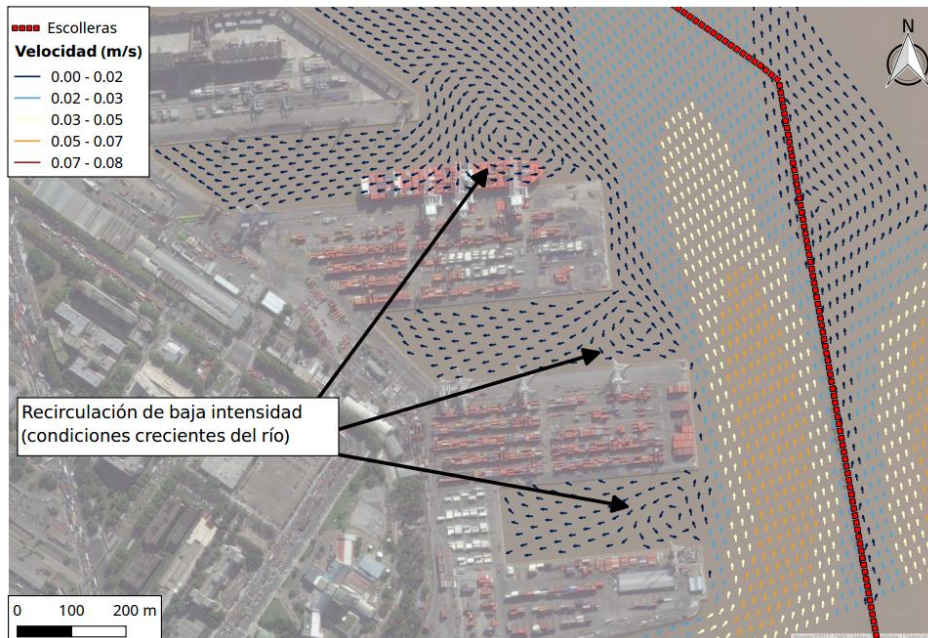


Figura 4.4. Recirculación en dársenas A, B y C

4.4 Configuración futura

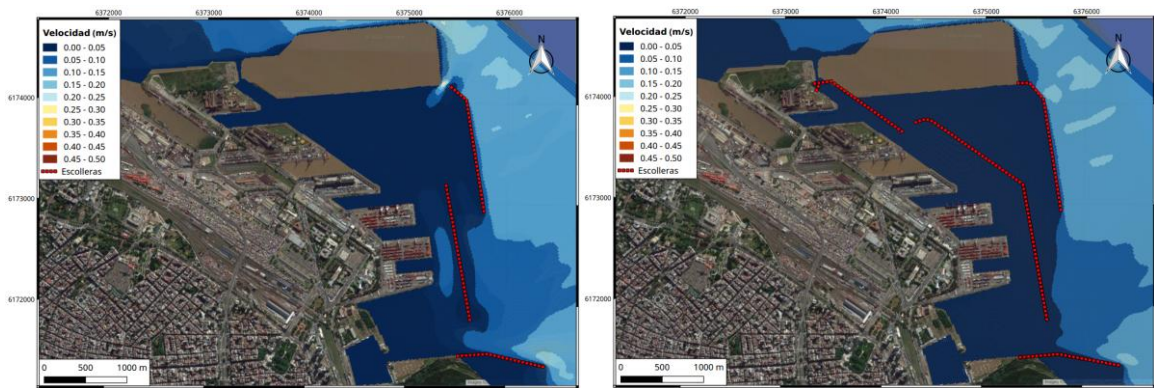
Para la condición futura se realizó la evaluación hidrodinámica de dos escenarios. El primero (Escenario 1) corresponde a la configuración de escolleras fue presentada en la Figura 4.1. Se consideró una profundidad de 10m respecto del cero MOP. Dicha configuración conserva la ubicación actual de la boca principal, adicionando una boca secundaria, y una boca terciaria de pequeña envergadura al norte de las anteriores, de aproximadamente 50m de apertura.

El segundo escenario (Escenario 2) corresponde al caso en que la boca terciaria está cerrada, lo que implica una continuidad entre el relleno y la obra de abrigo exterior al puerto.

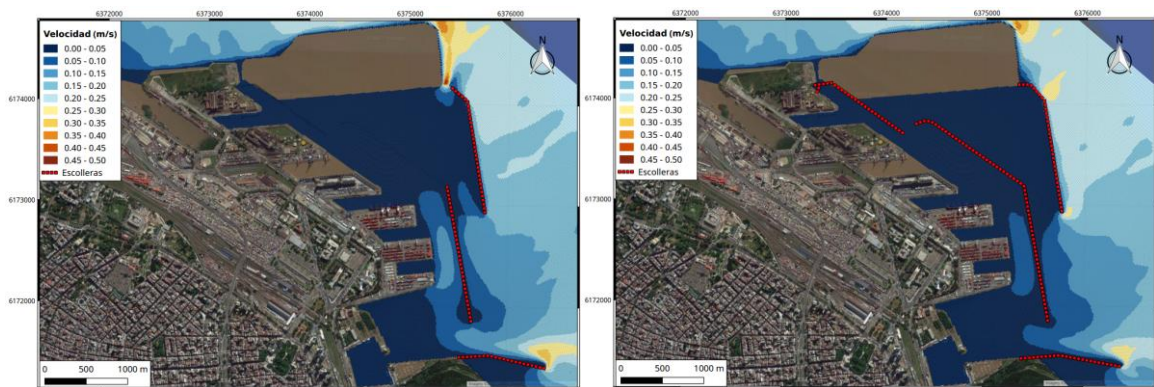
En la Figura 4.5 se presentan resultados para los dos escenarios, para las mismas condiciones de bajante y creciente simuladas en relación al puerto actual. Comparando con la Figura 4.2, se observa una relativamente significativa atenuación de las corrientes.

En la Figura 4.6 se comparan las series temporales del módulo de la velocidad en la boca principal para los tres escenarios. Se observa que la velocidad se reduce al orden de la mitad para el Escenario 1, y que la reducción es algo mayor para el Escenario 2.

Estas reducciones tendrán implicancias en el transporte de sedimentos y en la sedimentación dentro del puerto.



a. Bajante. Izq:Escenario 1; Der: Escenario 2.



a. b.Creciente. Izq: Escenario 1; Der: Escenario 2.

Figura 4.5.Campos de velocidades para la situación futura.

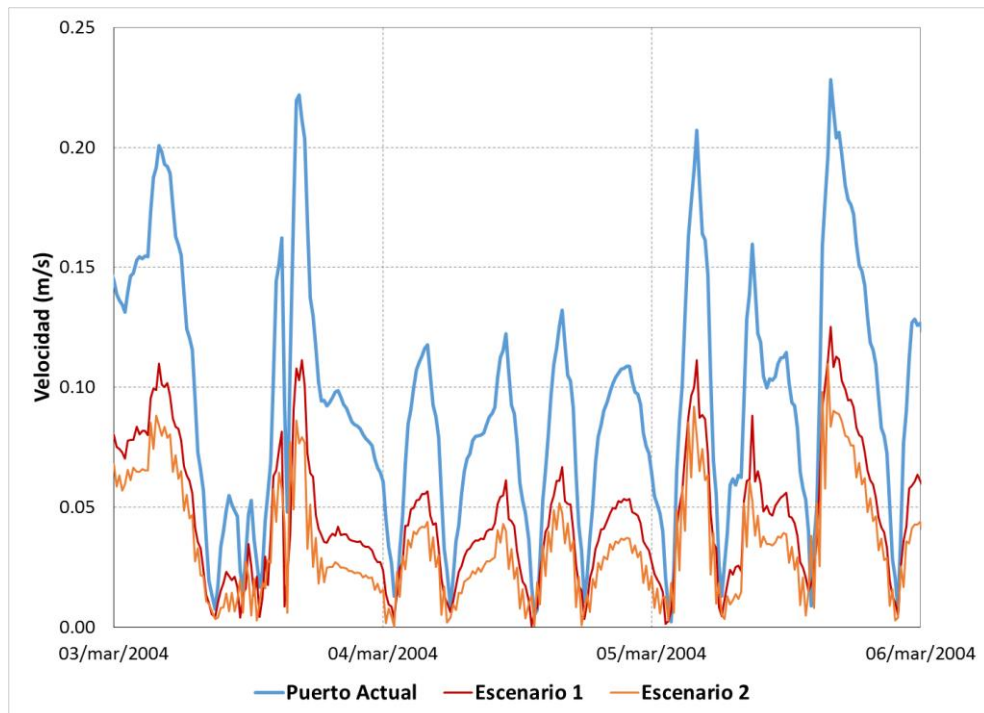


Figura 4.6.Series de velocidad en la boca principal

4.5 Estratificación térmica

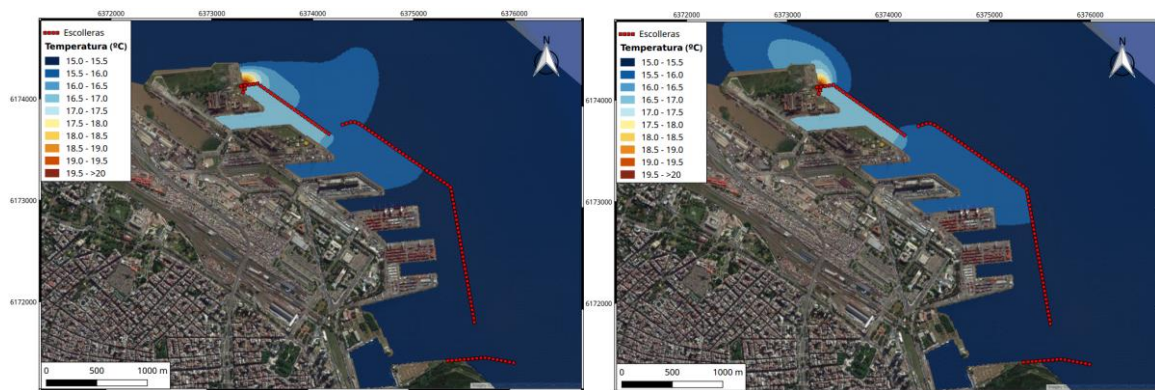
Las simulaciones descritas en las secciones precedentes consideran que existe una buena mezcla vertical, por lo cual se trabajó con la aproximación bidimensional. Sin embargo, la presencia de la descarga térmica de la Central Puerto Nuevo (CPN) introduce un aporte de menor densidad que genera una estratificación térmica. Su representación requiere apelar a la modelación tridimensional.

A continuación se presentan resultados preliminares de la simulación de estas corrientes de densidad para la configuración actual del puerto. Se utiliza una discretización de 10 capas en la dirección vertical.

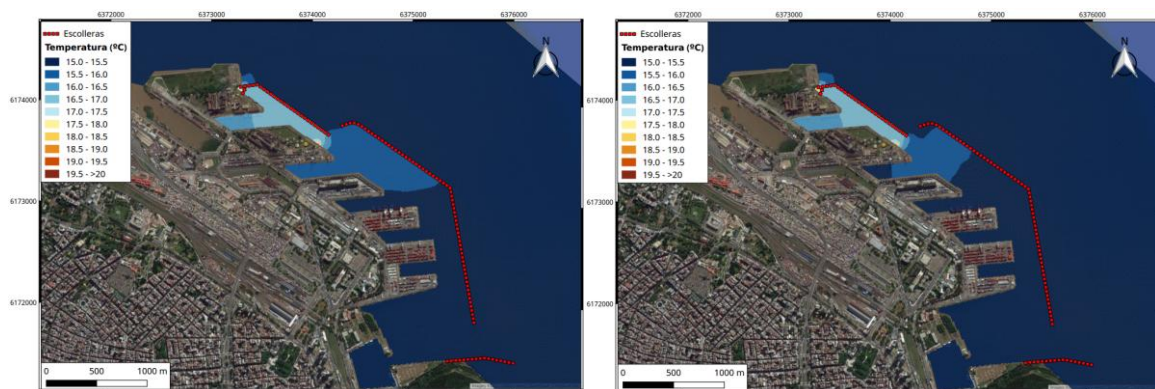
Se considera una temperatura de base de 15°C y una sobretemperatura de +8°C en la descarga térmica. Se incluyen las succiones de las tomas de las dos centrales en la dársena E, siendo la de la Central Nuevo Puerto (CNP) de 14,0 m³/s y la de CPN de 18,2 m³/s. Tal como se indicó más arriba, la descarga de la CNP se efectúa hacia el exterior del puerto; más específicamente, en el 5° espigón, mediante un conducto a presión de 2,5 m de alto, entre cotas -3,45 y -5,95 m MOP) y 27 m de ancho.

En la Figura 4.7 se presentan los campos de temperatura en distintas capas para momentos de creciente y bajante. En los campos correspondientes a las temperaturas en superficie se destaca la descarga de la CNP, mientras que para una profundidad media se aprecian sobretemperaturas frente al 5to espigón en correspondencia con la descarga de la CPN.

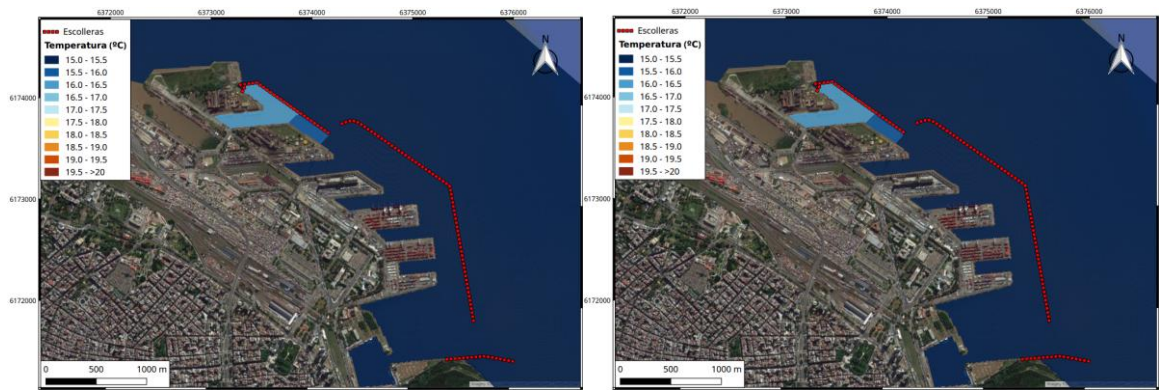
Los campos de temperatura en el fondo no presentan variaciones sensibles según se esté en una condición de creciente o bajante.



a. Capa Superior



b. Capa de profundidad media



c.Capa de fondo

Figura 4.7.Campos de temperatura para la situación actual (izq.: bajante; der.:creciente)

La Figura 4.8 presenta un corte longitudinal realizado desde la dársena E hasta la Boca Falsa para la configuración actual. Allí se pone en evidencia la estratificación térmica que genera por la descarga de la CPN, y la tendencia al rompimiento de esa estratificación que se produce al acercarse a la Boca Falsa.

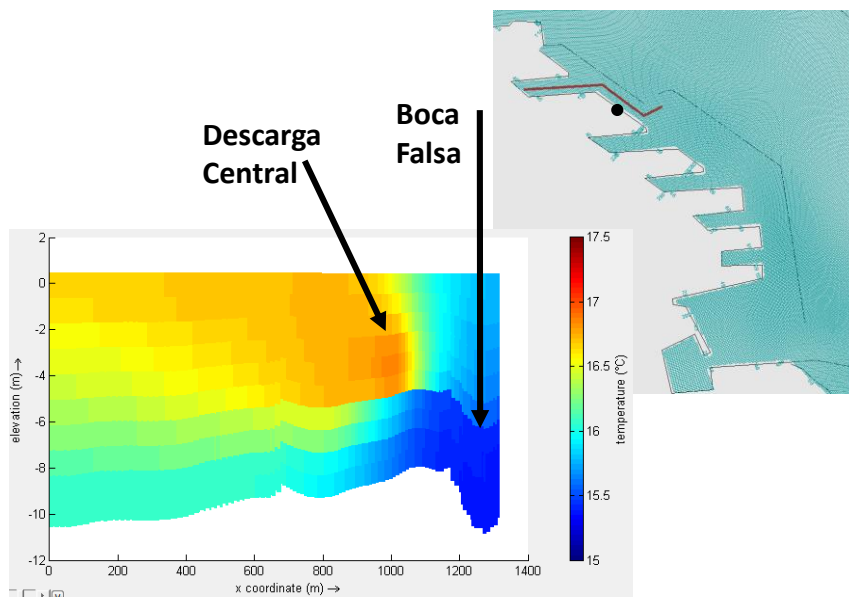


Figura 4.8.Estratificación térmica

5 SEDIMENTACIÓN

5.1 Consideraciones generales

En el Primer Informe de Avance se presentó:

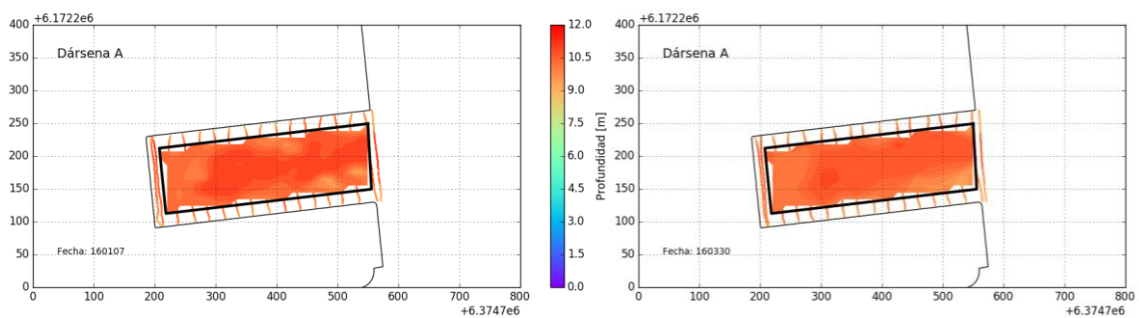
- Una descripción de los datos de base disponible sobre relevamientos batimétricos y operaciones de dragado en el Puerto de Buenos Aires.
- Un análisis de los relevamientos batimétricos para la dársena A, en base al cual se estimaron distribuciones espaciales de tasas de sedimentación.

En este Segundo Informe de Avance se presentan los resultados de tasas de sedimentación para todas las dársenas del puerto.

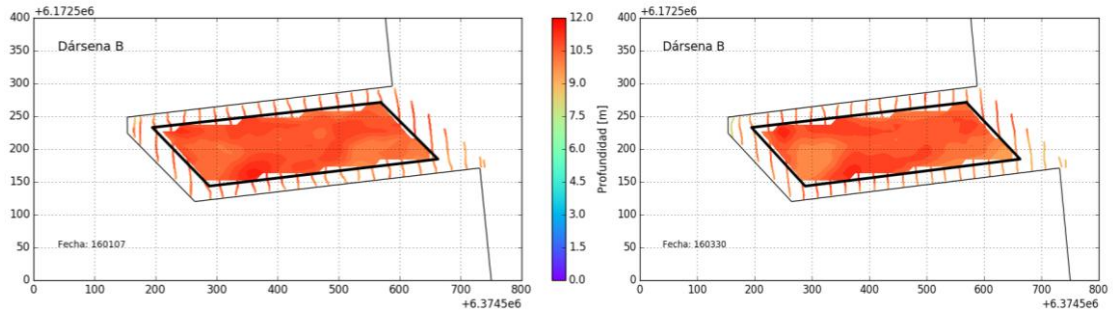
5.2 Tasas de sedimentación

Tal como se explicitó en el Primer Informe de Avance, para estimar las tasas de sedimentación en las diferentes dársenas del Puerto (A, B, C, D, E y Terminal 6) se adoptó el período que va desde el 01/ene/2016 al 30/mar/2016 (fechas en las que se cuenta con relevamientos batimétricos de la zona de estudio). Esta ventana temporal es de 84 días, y durante la misma no se registran operaciones de dragado de ningún tipo.

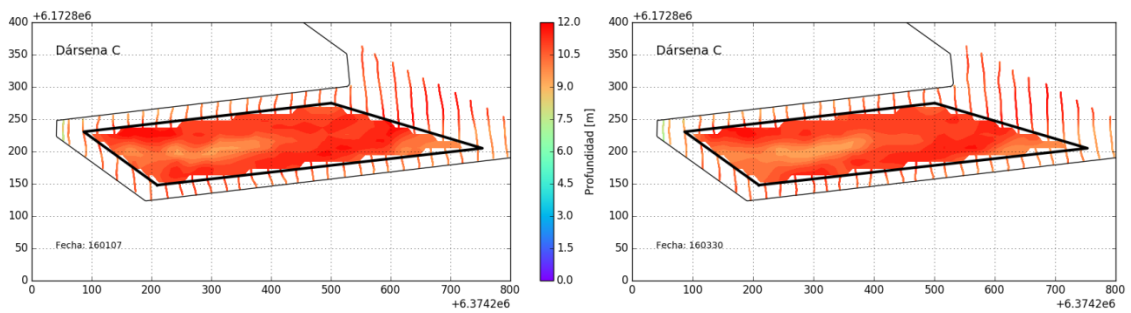
Para cada una de las dos fecha se realizó una interpolación de los puntos batimétricos relevados, con una discretización de 2 m, obteniéndose un Modelo Digital de Elevación (MDE) del fondo de cada dársena. Estos se representan en la Figura 5.1.



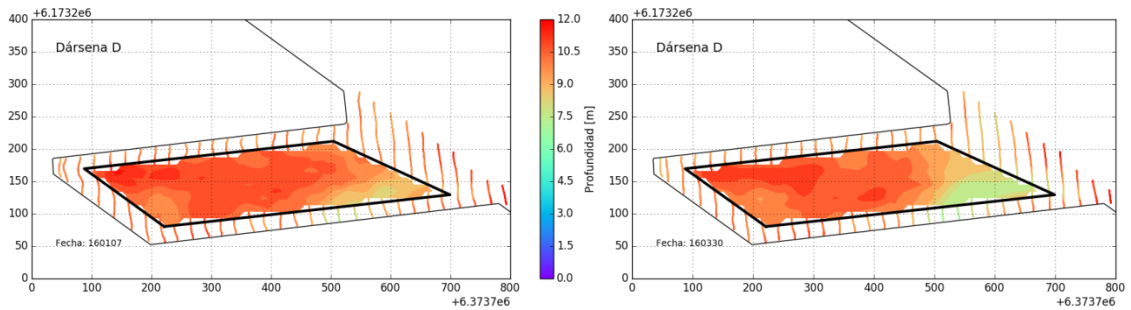
a. Relevamiento Dársena A para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



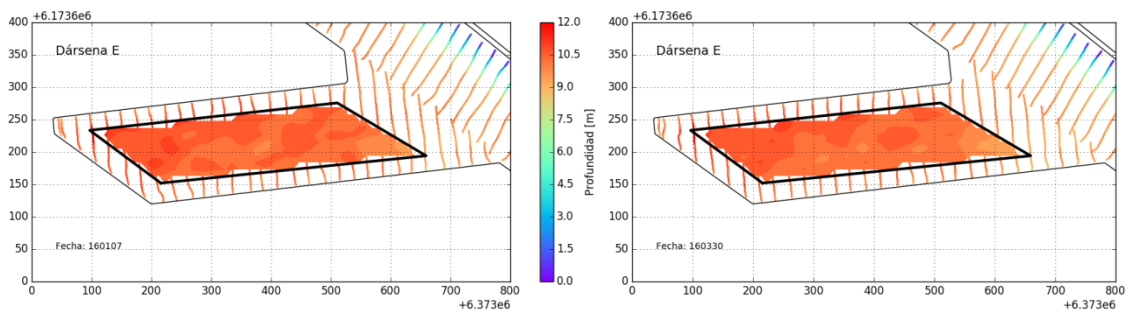
b. Relevamiento Dársena B para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



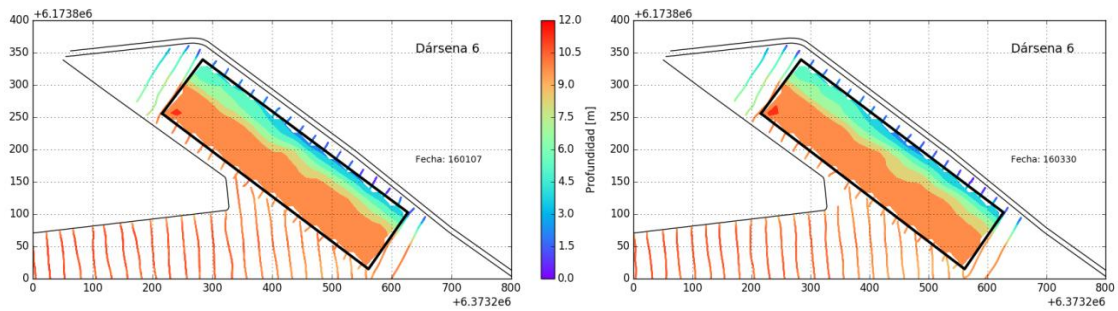
c. Relevamiento Dársena C para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



d. Relevamiento Dársena D para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



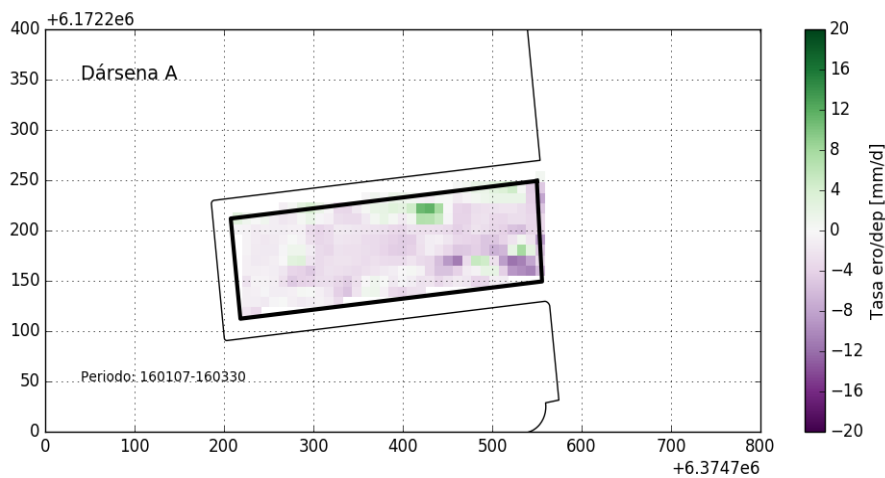
e. Relevamiento Dársena E para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



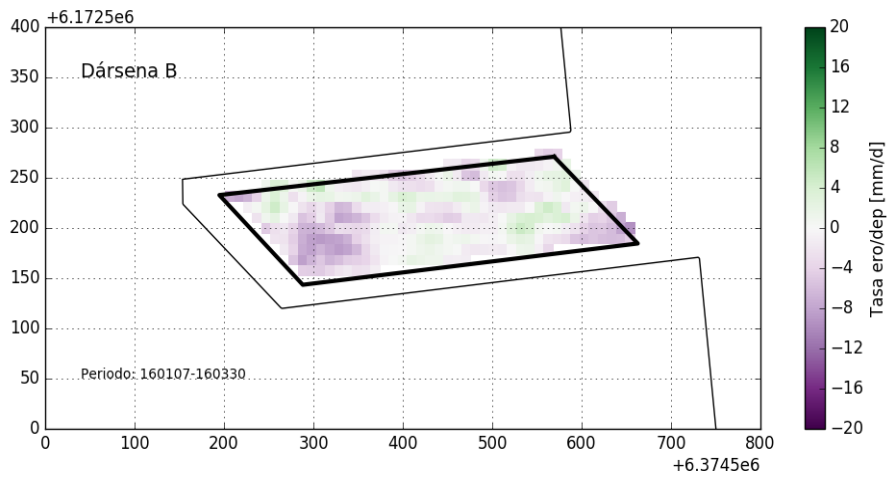
e. Relevamiento Terminal 6 para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).

Figura 5.1. Relevamientos batimétricos en las distintas dársenas para el primer trimestre de 2016 (período sin operaciones de dragado en el Puerto de Buenos Aires).

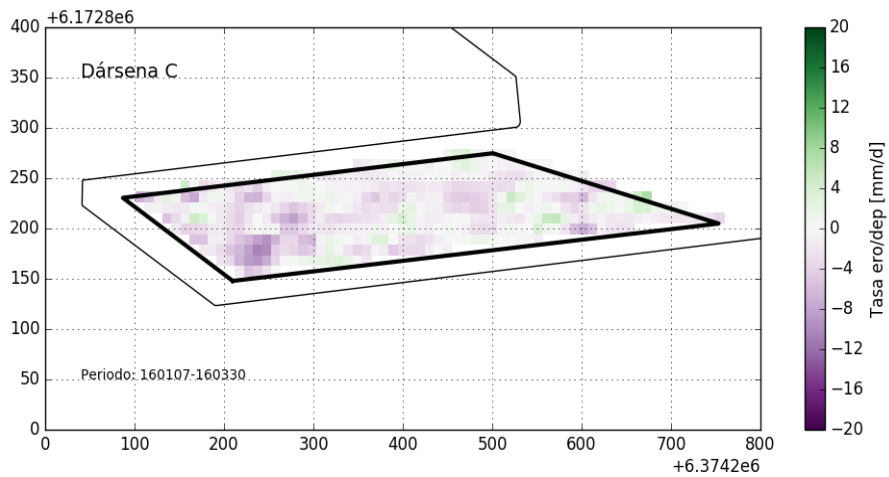
Una vez obtenidas las batimetrías para las dos fechas indicadas (07/ene/16 y 30/mar/16), se calcularon las diferencias entre las mismas, y se las dividió por el tiempo transcurrido entre ambas de modo de obtener tasas medias temporales de sedimentación para todas las dársenas. Estas se representan en la Figura 5.2. Se observa heterogeneidad espacial en las tasas, incluyendo la existencia de zonas en las que se produjeron erosiones efectivas (colores verdes). Se estima que este patrón está muy condicionado por la acción hidrodinámica de los buques sobre el fondo mientras están en movimiento.



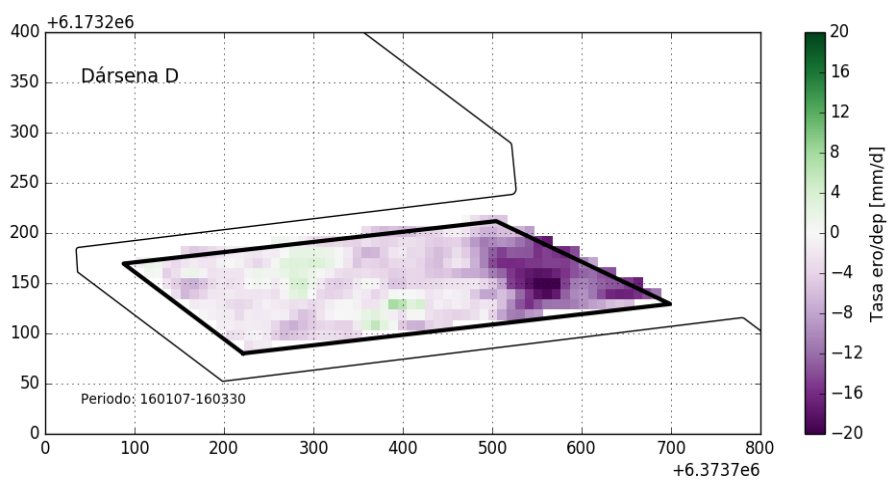
a. Dársena A.



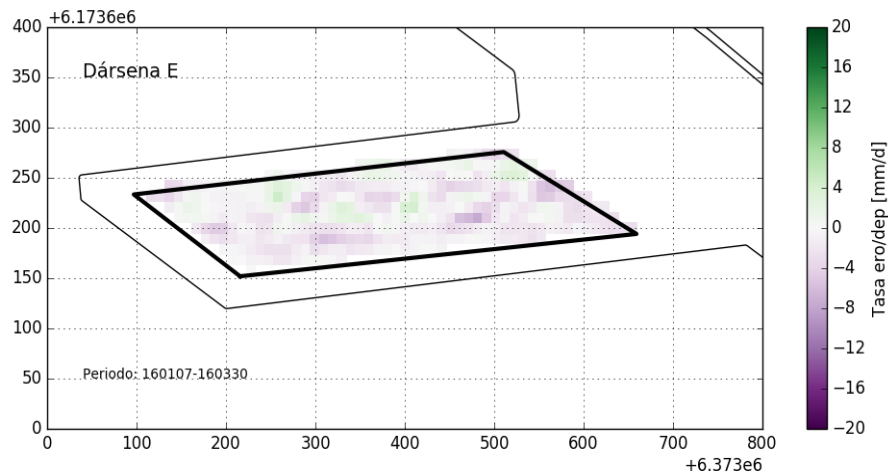
b.Dársena B.



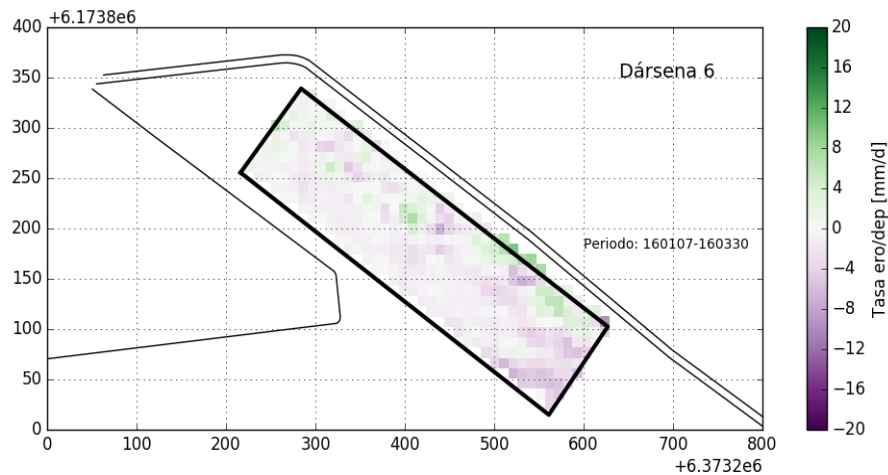
c.Dársena C.



d.Dársena D.



e.Dársena E.



f.Terminal 6.

Figura 5.2. Tasas de erosión (verde) y deposición (violeta) en las distintas dársenas para el primer trimestre de 2016 (período sin operaciones de dragado en el Puerto de Buenos Aires).

Como indicador global de sedimentación media temporal en cada dársena, se determinó la tasa media espacial integrando el correspondiente mapa de erosión/deposición (Figura 5.2). Los valores de estas tasas medias espacio/temporales se presentan en la Tabla 5.1. Se observa que estas varían desde un mínimo de 0,6 mm/d para Terminal 6 hasta un máximo de 1,8 mm/d para la dársena A. Estos valores serán utilizados como referencia para calibrar el modelo de sedimentación.

Tabla 5.1.Tasas de sedimentación medias.

Dársena	Tasa sedimentación [mm/día]
A	1,8
B	1,5
C	1,4
D	1,7
E	1,0
Terminal 6	0,6

6 CONCLUSIONES

Las siguientes son las principales conclusiones de este Segundo Informe de Avance:

- La agitación en el interior del recinto portuario para la configuración futura proyectada presentará patrones similares a los de la configuración actual, en cuanto a promedios de alturas de ola.
- Con la metodología de modelación desarrollada es posible analizar alternativas de configuración del puerto, asociadas a eventuales optimizaciones para reducir la agitación (como, por ejemplo, adecuación de la longitud del Espigón Sur), o a conveniencias desde el punto de vista hidrodinámico y/o sedimentológico.
- El cambio de configuración portuaria producirá un impacto hidráulico sobre ese entorno, que se manifestará en cambios en las velocidades de corriente y en las tasas de sedimentación. Las zonas de influencia resultarán del mismo orden de magnitud que la extensión del puerto, de aproximadamente 4 km, aunque los impactos significativos se extenderán sobre una franja mucho más acotada adyacente al contorno portuario.
- La extensión de la zona de impacto dependerá de las condiciones hidrodinámicas del Río de la Plata. La situación de referencia más significativa es la de condiciones normales (vientos leves).
- Los cambios en las velocidades de corriente afectarán en forma directa a la navegación. La máxima afectación a algunos tramos limitados de los canales Mitre, de Acceso Norte y de Acceso Sur, tanto por cambio de dirección como por cambio de intensidad de las corrientes, será menor a 5 cm/s, lo cual se considera un efecto muy bajo. Para una bajante extraordinaria pueden esperarse variaciones de hasta 0,10 m/s durante la fase de bajante, lo cual tampoco se considera muy significativo, más aun teniendo en cuenta que se trata de hechos eventuales.
- Por su parte, la expansión del recinto portuario producirá zonas de 'sombra' hacia aguas arriba y aguas abajo, donde se incrementará la tasa de sedimentación. Salvo en zonas muy limitadas adyacentes al contorno portuario, los incrementos en la tasa de sedimentación serán de a lo sumo el 30% sobre esa zona del Río de la Plata. La tasa de sedimentación actual es del orden de 1 mm/mes, es decir, muy baja, con lo cual esta se incrementaría como máximo a 1,3 mm/mes, que seguiría siendo muy baja.
- En el caso particular de los canales de Acceso Norte y Sur, el incremento máximo esperado en la tasa de sedimentación sobre los tramos afectados es algo superior al 10%. Dado que la tasa de sedimentación en esos canales es del orden de 1,8 mm/día, esto significa que podrían incrementarse al orden de 2 mm/día, lo cual no se considera un impacto muy significativo en la necesidad de dragado para mantener el calado.

- Con la configuración futura proyectada, las corrientes en el interior del puerto se verán significativamente atenuadas respecto de la situación actual. En particular, la velocidad en la boca principal se reducirá al orden de la mitad. Estas reducciones tendrá implicancias en el transporte de sedimentos y en la sedimentación dentro del puerto.
- La tasa de sedimentación en las dársenas portuarias actuales muestran, de acuerdo a los datos de relevamientos batimétricos, una gran heterogeneidad espacial, incluyendo la existencia de zonas en las que se pueden producir erosiones efectivas. Se estima que este patrón está muy condicionado por la acción hidrodinámica de los buques sobre el fondo mientras están en movimiento.
- La tasa de sedimentación media espacio-temporal en las dársenas varía desde un mínimo de 0,6 mm/d para Terminal 6, hasta un máximo de 1,8 mm/d para la dársena A.