



INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

REPÚBLICA ARGENTINA

**PUERTO
BUENOS AIRES**

ESTUDIOS HIDRÁULICOS PARA LA MODERNIZACIÓN DEL PUERTO DE BUENOS AIRES

Tercer Informe de Avance



**Proyecto LHA366
Informe LHA 03-366-17
Ezeiza, Enero de 2018**

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

ESTUDIOS HIDRÁULICOS PARA LA MODERNIZACIÓN DEL PUERTO DE BUENOS AIRES

Tercer Informe de Avance

RESUMEN

Se obtienen resultados sobre agitación, sedimentación y estratificación térmica correspondientes a distintas configuraciones de proyecto para el puerto de Buenos Aires. Se cuantifica el potencial impacto de vertidos de material sólido que generen plumas de turbidez.

Descriptores temáticos: agitación, sedimentación, estratificación térmica, plumas de turbidez

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

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	4
2	ESCENARIOS DE PROYECTO	5
2.1	Descripción general	5
2.2	Variantes de la Terminal Exterior	5
2.3	Secuencia constructiva	16
3	AGITACIÓN DENTRO DE RECINTO PORTUARIO	17
3.1	Consideraciones generales	17
3.2	Secciones y puntos de control	17
3.3	Resultados	18
3.3.1	Impacto del corrimiento de la Escollera	21
3.3.2	Impacto de la extensión de la obra de abrigo Sur	22
3.3.3	Impacto de la extensión del relleno	23
3.3.4	Impacto de la incorporación de una boca falsa	25
3.3.5	Variación de la agitación en sectores de interés	26
3.4	Síntesis	28
4	SEDIMENTACIÓN	30
4.1	Consideraciones generales	30
4.2	Metodología de modelación	30
4.3	Calibración del modelo	31
4.4	Escenarios Futuros	33

4.4.1	Tasas de sedimentación	33
4.4.2	Volúmenes de sedimentación	39
4.4.3	Análisis	40
5	DESCARGAS TÉRMICAS	43
5.1	Consideraciones generales	43
5.2	Configuración actual	44
5.3	Configuración futura	45
5.4	Estratificación	47
5.5	Análisis	53
5.5.1	Cambio en condiciones ambientales	53
5.5.2	Incremento de temperatura en zona de tomas	55
5.5.3	Estratificación	55
6	PLUMA DE TURBIDEZ	56
6.1	Planteo del problema	56
6.2	Estrategia de simulación de plumas de turbidez	57
6.3	Estadística de amplitud de marea	57
6.4	Escenarios de simulación	59
6.5	Resultados	60
7	CONCLUSIONES	68

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 el Segundo Informe de Avance se desarrolló el análisis de la agitación utilizándose mallas de cálculo más finas y ampliando el espectro de escenarios, se presentaron resultados completos para el estudio de impacto hidráulico, se mostraron resultados sobre la hidrodinámica en el interior del puerto, y se presentaron las tasas de sedimentación en todas las dársenas del puerto actual obtenidas en base a los datos de relevamientos.

En este Tercer Informe de Avance se presentan análisis de comportamiento para distintos escenarios de configuración portuaria.

La organización del Informe es como sigue:

- En el capítulo 2 se describen los escenarios básicos de configuración portuaria establecidos por AGP.
- En el capítulo 3 presentan y analizan los resultados de agitación en el interior del recinto portuario para los distintos escenarios.
- En capítulo 4 se describe la metodología de modelación de la sedimentación, y se determinan las tasas esperables para los distintos escenarios.
- En el capítulo 5 se presenta el estudio de la dinámica provocada por la descarga de agua sobrecalentada de las centrales termoeléctricas.
- En el capítulo 6 se desarrolla el análisis del potencial impacto de vertidos de suelo durante la construcción y la consiguiente formación de plumas de turbidez.
- En el capítulo 7 se desarrollan las conclusiones de esta etapa de estudios.

En la última etapa del proyecto se efectuarán análisis complementarios de clima de olas, sedimentación, dinámica hidrotérmica y turbidez que pueden modificar parcialmente algunas de las conclusiones.

2 ESCENARIOS DE PROYECTO

2.1 Descripción general

La AGP definió una serie de escenarios de proyecto, que parten de un escenario básico, sobre el cual se plantean variantes de la Terminal Exterior. Además, estableció una secuencia constructiva en tres etapas.

2.2 Variantes de la Terminal Exterior

Los escenarios que se plantean surgen de la combinación de cuatro variantes de obras, a saber:

- Extensión del relleno en 1200 m o 1500 m.
- Modificación completa de la Escollera existente o únicamente de su extremo Norte.
- Existencia de una Boca Falsa, independientemente de su disposición y dimensión.
- Extensión o no de la Obra de Abrigo Sur al Canal de Acceso, independientemente de su extensión.

De la combinación de estas variantes de obra surgen los siguientes escenarios:

Escenario 1 (Figura 2.1):

- Relleno Exterior en 1200 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera sin mover.
- Con Boca Falsa de 50 m.
- Extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.1. Configuración de Escenario 1.



Escenario 2 (

Figura 2.2):

- Relleno Exterior en 1200 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera sin mover.
- Sin Boca Falsa
- Extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.2. Configuración de Escenario 2.

Escenario 3 (



Figura 2.3):

- Relleno Exterior en 1200 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera modificada.

- Sin Boca Falsa de 50 m.
- Extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.3. Configuración de Escenario 3.



Escenario 4 (

Figura 2.4):

- Relleno Exterior en 1200 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera modificada.
- Con Boca Falsa de 50 m.
- Extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.4. Configuración de Escenario 4.



Escenario 5 (

Figura 2.5):

- Relleno Exterior en 1200 m de extensión.

- Extremo Sur de Escollera sin mover.
- Con Boca Falsa de 50 m.
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.5. Configuración de Escenario 5.

Escenario 6 (



Figura 2.6):

- Relleno Exterior en 1200 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera sin mover.
- Sin Boca Falsa
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.6. Configuración de Escenario 6.



Figura 2.7):

- Relleno Exterior en 1200 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera modificada.
- Sin Boca Falsa de 50 m.
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.7. Configuración de Escenario 7.



Figura 2.8):

- Relleno Exterior en 1200 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera modificada.
- Con Boca Falsa de 50 m.
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.8. Configuración de Escenario 8.

Escenario 9 (



Figura 2.9):

- Relleno Exterior en 1500 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera sin mover.
- Con Boca Falsa de 50 m.
- Extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.9. Configuración de Escenario 9.

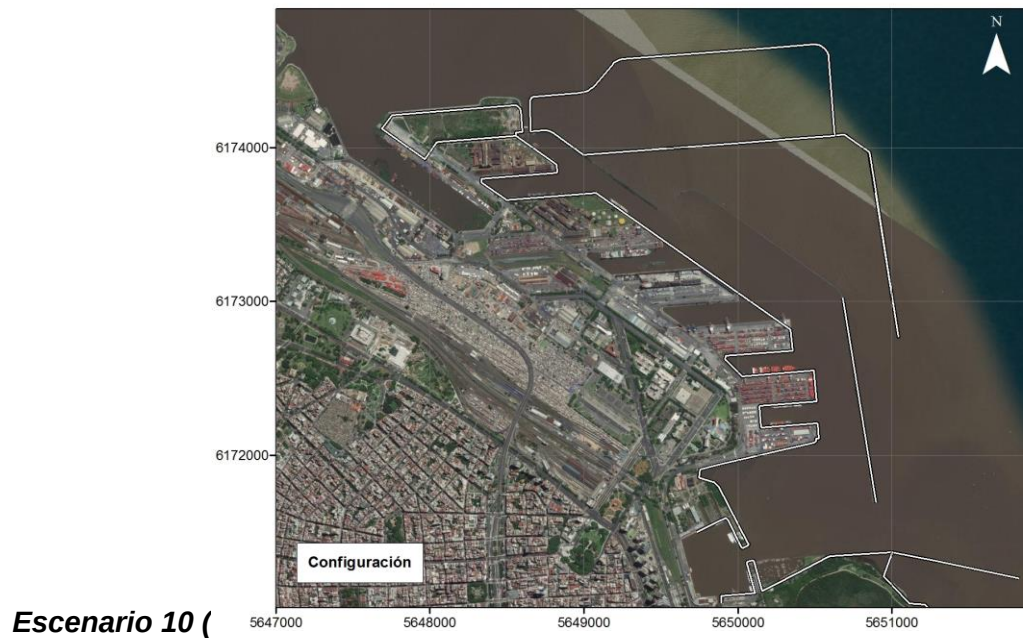


Figura 2.10):

- Relleno Exterior en 1500 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera sin mover.
- Sin Boca Falsa
- Extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.10. Configuración de Escenario 10.

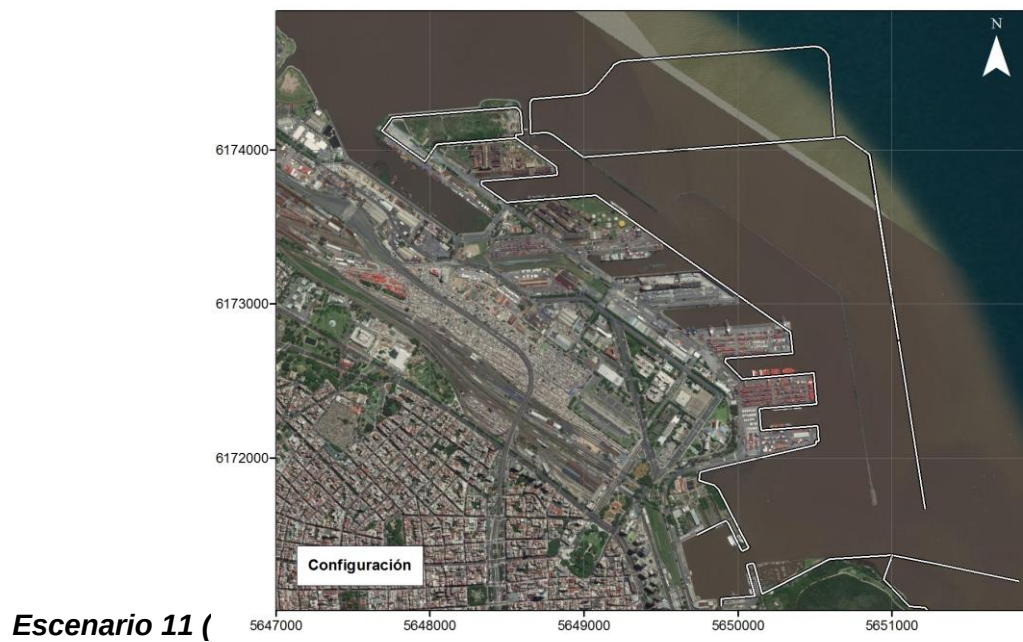


Figura 2.11):

- Relleno Exterior en 1500 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera modificada.
- Sin Boca Falsa de 50 m.
- Extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.11. Configuración de Escenario 11.



Escenario 12 (

Figura 2.12):

- Relleno Exterior en 1500 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera modificada.
- Con Boca Falsa de 50 m.
- Extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.12. Configuración de Escenario 12.



Escenario 13 (

Figura 2.13):

- Relleno Exterior en 1500 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera sin mover.

- Con Boca Falsa de 50 m.
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.13. Configuración de Escenario 13.



Escenario 14 (

Figura 2.14):

- Relleno Exterior en 1500 m de extensión.

- Extremo Sur de Escollera sin mover.
- Sin Boca Falsa
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.14. Configuración de Escenario 14.

Escenario 15 (



Figura 2.15):

- Relleno Exterior en 1500 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera modificada.
- Sin Boca Falsa de 50 m.
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.15. Configuración de Escenario 15.

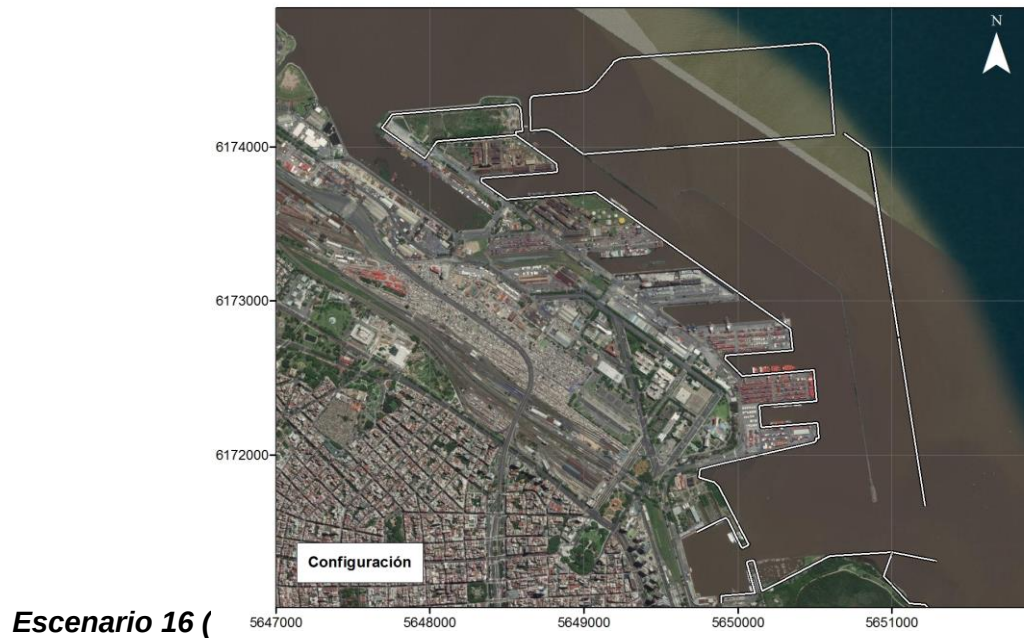


Figura 2.16):

- Relleno Exterior en 1500 m de extensión.
- Extremo Sur de Escollera modificada.
- Con Boca Falsa de 50 m.
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur



Figura 2.16. Configuración de Escenario 16.

2.3 Secuencia constructiva

Se distinguen tres etapas de construcción de las obras, a saber:

- *Etapla I:* Configuración actual más muelle en Cabecera de 4° Espigón.
- *Etapla II:* Construcción de Cierre de Dársena "D" con muelle sobre el mismo.
- *Etapla III:* Construcción de Cierre de Dársena "C" con muelle sobre el mismo.

3 AGITACIÓN DENTRO DE RECINTO PORTUARIO

3.1 Consideraciones generales

Respondiendo a los requerimientos planteados por AGPSE, se evaluaron desde el punto de vista de la agitación un conjunto de escenarios que surgen de la combinación de las cuatro variantes de obra proyectadas para modificar la configuración de la planta portuaria.

El impacto de cada una de estas modificaciones estructurales sobre los patrones que caracterizan agitación interna del puerto, generada por la incidencia del oleaje, fue analizado mediante la implementación del modelo CGWAVE.

Se realizó un amplio conjunto de simulaciones numéricas representando los Escenarios definidos por AGPSE, con el propósito de establecer valores comparativos de alturas de ola esperables con cada configuración en los distintos sectores de interés para la operación del puerto.

La elevada demanda de tiempo de cálculo requerido para el análisis planteado condujo a la necesidad de utilizar escenarios hidrodinámicos simplificados para representar la incidencia del oleaje, consistentes en ondas regulares con altura significativa $H_s = 1$ m y período de pico $T_p = 5$ seg. La mayoría de los casos contempló las direcciones de propagación E, ENE y ESE, agregándose adicionalmente la dirección NE para evaluar la incorporación de la Boca Falsa en la configuración de la planta portuaria.

Las características referidas a la conformación de las mallas de cálculo para la aplicación de CGWAVE, tamaños y cantidad de elementos, propiedades reflejantes y demás, responden a las mismas consideraciones presentadas en el Segundo Informe de Avance.

3.2 Secciones y puntos de control

Con el propósito de identificar valores promedio de H_s correspondientes a diferentes ubicaciones de interés para el análisis, se dispuso una serie de secciones y puntos de control, los cuales se indican en la Figura 3.1. De esta manera, pueden identificarse los siguientes sectores:

- Secciones de control en Acceso al puerto: Canal, Boca, Boca Nueva (BN)
- Secciones de control en muelles de Dársenas: Dársena Norte (DN), Dársenas A a F (DA, DB, DE, DF)
- Secciones de control en muelles nuevos: MN1 y MN2.
- Puntos de control en zonas de maniobras de los buques: Antepuerto (Ant) y Maniobras (Man).

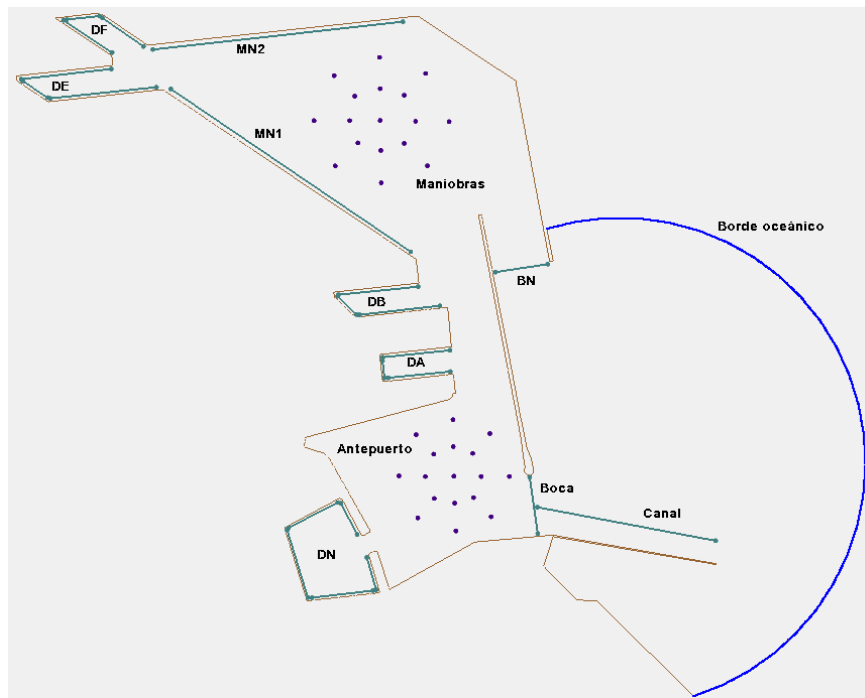


Figura 3.1. Ubicación de puntos y secciones de control.

3.3 Resultados

Se realizaron en esta etapa de estudio un total de 32 simulaciones numéricas, analizando 12 configuraciones portuarias diferentes. Se considera que mediante este análisis se evalúan los aspectos más importantes desde el punto de vista de la acción del oleaje, estudiando el impacto de las potenciales modificaciones sobre los patrones de agitación interior.

La Tabla 3.1 y la Tabla 3.2 presentan los resultados de la modelación, indicando valores de altura significativa H_s promedio en cada sector de interés, contemplando escenarios correspondientes a una configuración con un relleno de extensión de 1200 m y un relleno con extensión de 1500 m, respectivamente.

Los Escenarios E1 y E9 constituyen un caso particular para la modelación, dado que evalúan el ingreso del oleaje (con direcciones ENE y NE) a través de una boca falsa ubicada en el extremo superior del sector de Maniobras. Esto demanda incorporar en las mallas de cálculo un área adicional con alta resolución, contemplando un segundo borde oceánico que permita representar la incidencia del oleaje exterior en la zona mencionada (ver Figura 3.9). Ahora bien, debido a la limitación sobre la cantidad de elementos que componen la malla de elementos finitos en el modelo CGWAVE, resulta imposible representar en forma simultánea la propagación del oleaje desde ambos bordes oceánicos. En consecuencia, los resultados presentados para los escenarios E1 y E9 evalúan solamente el ingreso de olas al recinto portuario a través de la boca falsa.

A continuación se presenta un análisis de los resultados.

Tabla 3.1. Resultados de agitación para escenarios con relleno de 1200 m de extensión

Esc	Dir	Promedio Hs (m) para cada sector											
		Canal	Boca	DN	DA	DB	DE	DF	MN1	MN2	Ant	Man	BN
E2	E	0.44	0.42	0.07	0.19	0.03	0.02	0.02	0.05	0.06	0.26	0.05	0.74
	ENE	1.05	0.69	0.16	0.07	0.02	0.01	0.02	0.03	0.03	0.52	0.03	0.45
	ESE	0.34	0.31	0.07	0.12	0.03	0.05	0.11	0.09	0.12	0.23	0.11	0.95
E3	E	0.36	0.62	0.08	0.08	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.32	0.04	0.07
	ENE	1.30	0.85	0.17	0.18	0.05	0.05	0.05	0.10	0.12	0.31	0.14	0.13
	ESE	0.27	0.44	0.11	0.04	0.02	0.02	0.02	0.04	0.03	0.35	0.02	0.06
E6	E	0.42	0.41	0.08	0.14	0.02	0.02	0.02	0.04	0.05	0.26	0.05	0.75
	ENE	1.20	0.79	0.19	0.09	0.03	0.01	0.02	0.03	0.04	0.54	0.04	0.44
	ESE	0.67	0.50	0.10	0.06	0.02	0.06	0.07	0.10	0.14	0.37	0.11	1.01
E7	E	0.41	0.64	0.10	0.13	0.03	0.04	0.04	0.05	0.06	0.32	0.07	0.12
	ENE	1.30	0.87	0.19	0.18	0.05	0.05	0.05	0.08	0.10	0.35	0.10	0.12
	ESE	0.48	0.73	0.18	0.13	0.03	0.03	0.03	0.07	0.07	0.48	0.07	0.10
E1	ENE	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.09	0.07	0.13	0.20	0.01	0.12	0.03
	NE	0.02	0.02	0.01	0.02	0.05	0.12	0.08	0.20	0.26	0.02	0.21	0.05
E1b	ENE	0.02	0.01	0.00	0.02	0.05	0.23	0.17	0.27	0.41	0.02	0.21	0.05
	NE	0.04	0.02	0.00	0.03	0.05	0.11	0.07	0.30	0.31	0.03	0.29	0.09

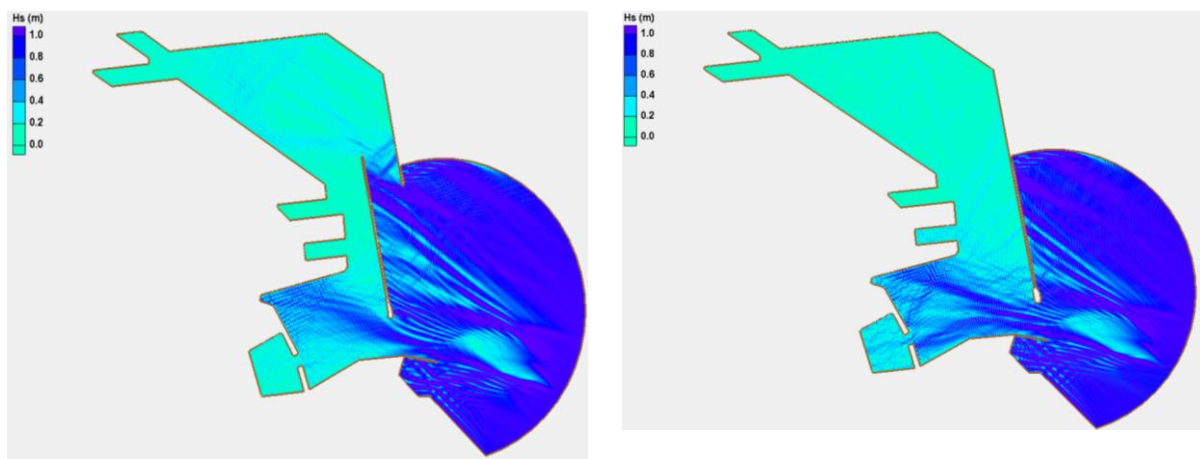
Tabla 3.2. Resultados de agitación para escenarios con relleno de 1500 m de extensión

Esc	Dir	Promedio Hs (m) para cada sector											
		Canal	Boca	DN	DA	DB	DE	DF	MN1	MN2	Ant	Man	BN
E10	E	0.42	0.40	0.07	0.17	0.03	0.02	0.02	0.05	0.05	0.23	0.06	0.72
	ENE	1.07	0.70	0.16	0.07	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.54	0.04	0.48
	ESE	0.34	0.31	0.07	0.11	0.02	0.06	0.06	0.08	0.12	0.21	0.10	0.93
E11	E	0.41	0.66	0.09	0.11	0.03	0.02	0.02	0.04	0.04	0.27	0.04	0.07
	ENE	1.29	0.84	0.21	0.19	0.05	0.05	0.03	0.09	0.10	0.34	0.14	0.12
	ESE	0.30	0.36	0.10	0.06	0.02	0.03	0.02	0.04	0.04	0.28	0.03	0.08
E14	E	0.46	0.42	0.08	0.15	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	0.25	0.05	0.65
	ENE	1.19	0.80	0.20	0.10	0.02	0.01	0.01	0.04	0.05	0.54	0.04	0.45
	ESE	0.72	0.54	0.12	0.06	0.02	0.03	0.06	0.10	0.13	0.39	0.11	1.03
E15	E	0.41	0.60	0.12	0.15	0.03	0.04	0.04	0.06	0.06	0.36	0.07	0.12
	ENE	1.30	0.85	0.20	0.17	0.07	0.05	0.04	0.09	0.11	0.37	0.11	0.12
	ESE	0.49	0.72	0.20	0.13	0.04	0.03	0.04	0.08	0.07	0.54	0.08	0.11
E9	ENE	0.02	0.02	0.01	0.01	0.03	0.09	0.08	0.15	0.18	0.01	0.14	0.03
	NE	0.03	0.01	0.01	0.01	0.06	0.12	0.11	0.25	0.24	0.02	0.26	0.06
E9b	ENE	0.03	0.05	0.01	0.01	0.05	0.21	0.18	0.28	0.33	0.02	0.23	0.06
	NE	0.04	0.04	0.02	0.02	0.09	0.08	0.05	0.37	0.24	0.04	0.42	0.09

3.3.1 Impacto del corrimiento de la Escollera

La alteración en los patrones de agitación que se generarían debido al corrimiento de la Escollera Sur puede evaluarse mediante el contraste entre valores de H_s correspondientes a los Escenarios E6 y E7 (Tabla 3.1).

La Figura 3.2 permite apreciar las diferencias en la distribución de alturas de ola dentro del recinto portuario para las configuraciones mencionadas, considerando el caso de un oleaje incidente desde la dirección ESE. Se observa que el corrimiento de la Escollera promueve un mayor ingreso de energía de las olas al sector del Antepuerto, al tiempo que se reduce la agitación en el área de Maniobras. En este sector, la agitación depende fundamentalmente de la posibilidad de que ingresen olas a través de la Boca Nueva (BN).



a) Escenario E6 con oleaje de dirección ESE

b) Escenario E7 con oleaje de dirección ESE

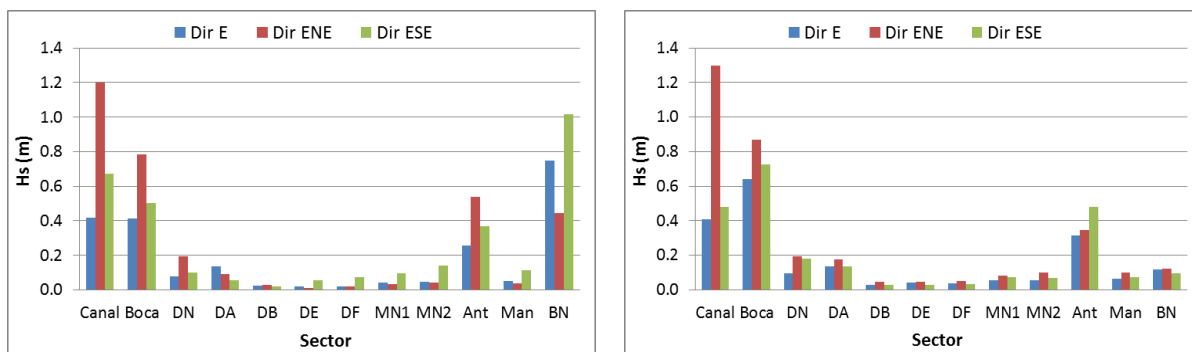
Figura 3.2. Influencia del corrimiento de la Escollera sobre la agitación interior.

El análisis cuantitativo de estos resultados puede realizarse mediante la comparación de los gráficos de barras presentados en la Figura 3.3, donde se indican valores de agitación obtenidos en ambos escenarios para las tres direcciones de oleaje analizadas.

El contraste de estos gráficos señala que, más allá de las diferencias en los indicadores de agitación que pueden obtenerse en los distintos sectores, al modificarse la dirección del oleaje incidente los valores de H_s correspondientes a dársenas y muelles se mantienen en todos los casos por debajo de 0.2 m para ambos escenarios. La zona del interior del puerto con cambios más significativos en la agitación resulta ser el Antepuerto, donde se obtuvo como valor más elevado $H_s = 0.54$ m para un oleaje del ENE en el escenario E6.

Cabe destacar que, de acuerdo a la disposición de las obras de abrigo, el sector de Antepuerto correspondiente al escenario E6 coincide con la configuración actual del puerto.

Un resultado similar puede obtenerse si se evalúa el impacto del corrimiento de la Escollera sobre la configuración que contempla un relleno con extensión de 1500 m. En este caso, el contraste de valores representativos de la agitación para los escenarios E14 y E15 (Tabla 3.2) permite realizar las mismas observaciones.



a) Valores promedio de H_s (m) para E6

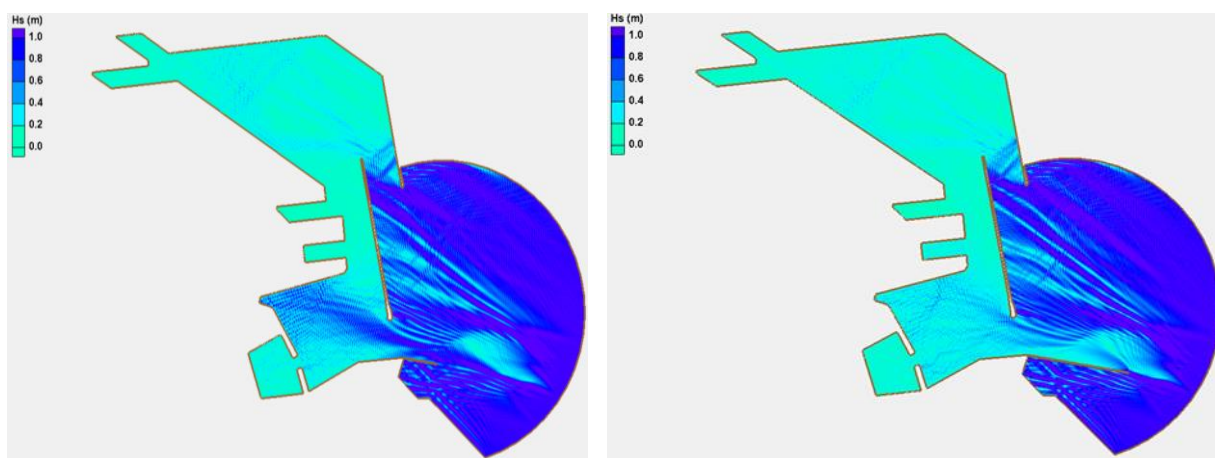
b) Valores promedio de H_s (m) para E7

Figura 3.3. Comparación de patrones de agitación entre escenarios E6 y E7.

3.3.2 Impacto de la extensión de la obra de abrigo Sur

La alteración en los patrones de agitación que se generarían debido a la extensión de la obra de abrigo Sur puede evaluarse mediante el contraste entre valores de H_s correspondientes a los Escenarios E6 y E2 (Tabla 3.1).

La Figura 3.4 permite apreciar las diferencias en la distribución de alturas de ola dentro del recinto portuario para las configuraciones mencionadas, considerando el caso de un oleaje incidente desde la dirección ESE. Se observa que la extensión de la obra de abrigo reduce considerablemente el ingreso de energía de las olas al sector del Antepuerto, pero no produce modificaciones importantes sobre la agitación en la zona de Maniobras. Esto se debe a que el efecto de difracción generado por la escollera extendida para el oleaje de dirección ESE no alcanza a cubrir el sector de la Boca Nueva (BN), la cual se encuentra muy alejada de la obra de abrigo.

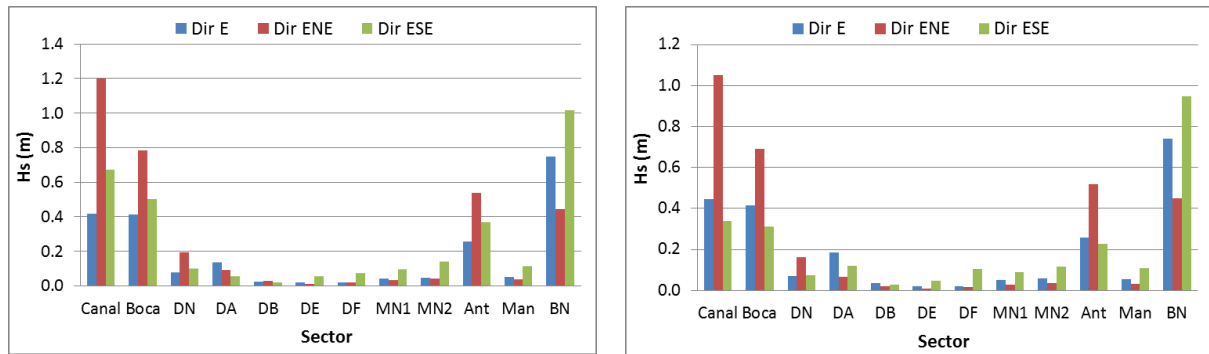


a) Escenario E6 con dirección del oleaje ESE

b) Escenario E2 con dirección del oleaje ESE

Figura 3.4. Influencia de la extensión de la obra de abrigo Sur sobre la agitación interior.

En la Figura 3.5 se presenta una comparación más amplia de resultados, indicando valores de agitación obtenidos en ambos escenarios para las tres direcciones de oleaje analizadas. De manera similar a lo observado en la sección 3.3.1, el contraste de estos gráficos muestra que los valores promedio de agitación correspondientes a dársenas y muelles se mantienen en todos los casos por debajo de $H_s = 0.2$ m para ambos escenarios. La zona del interior del puerto con cambios más significativos resulta ser el Antepuerto, y en menor medida la Dársena A.



a) Valores promedio de H_s (m) para E6

b) Valores promedio de H_s (m) para E2

Figura 3.5. Comparación de patrones de agitación entre escenarios E6 y E2.

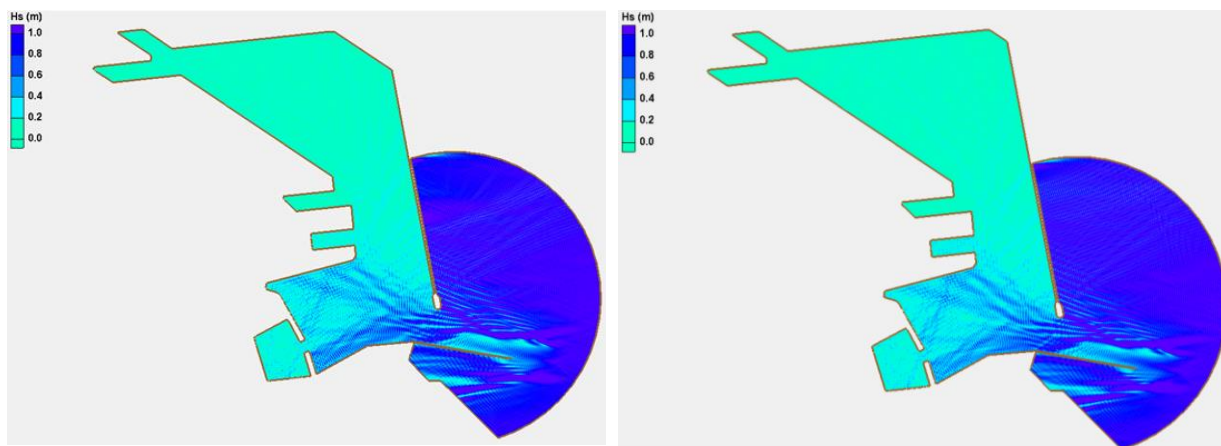
Un resultado similar puede obtenerse si se evalúa el impacto de la extensión de la obra de abrigo Sur sobre la configuración que contempla un relleno con extensión de 1500 m. En este caso, el contraste de valores representativos de la agitación para los escenarios E14 y E10 (Tabla 3.2) permite realizar las mismas observaciones.

3.3.3 Impacto de la extensión del relleno

La extensión del área de relleno implica esencialmente una modificación en la superficie del área de maniobras, sin alterar el desarrollo de las dos obras analizadas anteriormente (corrimiento de la escollera y extensión de la obra de abrigo Sur). Esto sugiere que la afectación sobre los patrones de agitación inducidos por esta modificación de la configuración portuaria debería ser poco significativa fuera de ese sector.

La Figura 3.6 muestra, a modo de ejemplo, la distribución de alturas de ola correspondiente a los escenarios E3 y E11 con un oleaje incidente desde la dirección E. En efecto, en estas figuras no se aprecian diferencias importantes en las alturas del oleaje dentro del puerto.

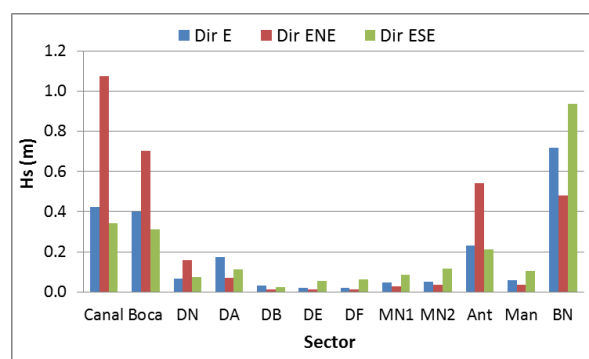
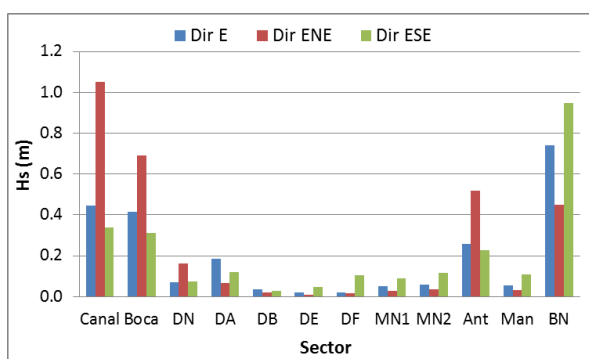
Los gráficos de barras de la Figura 3.7 y la Figura 3.8, comparando patrones de agitación entre los escenarios E2 con E10 y E3 con E11, respectivamente, confirman estas observaciones.



a) Escenario E3 con dirección del oleaje E

b) Escenario E11 con dirección del oleaje E

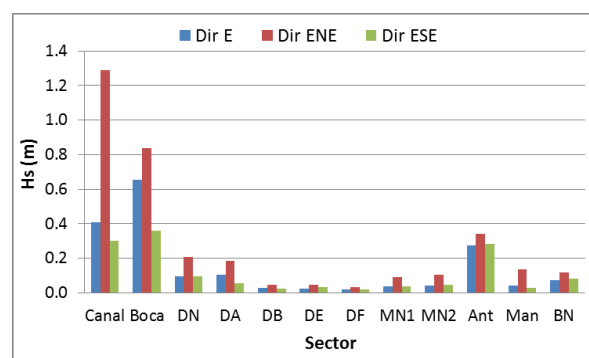
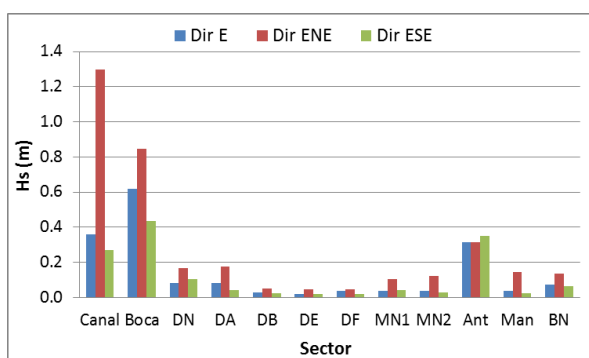
Figura 3.6. Influencia de la extensión del relleno sobre la agitación interior.



a) Valores promedio de Hs (m) para E2

b) Valores promedio de Hs (m) para E10

Figura 3.7. Comparación de patrones de agitación entre escenarios E2 y E10.



a) Valores promedio de Hs (m) para E3

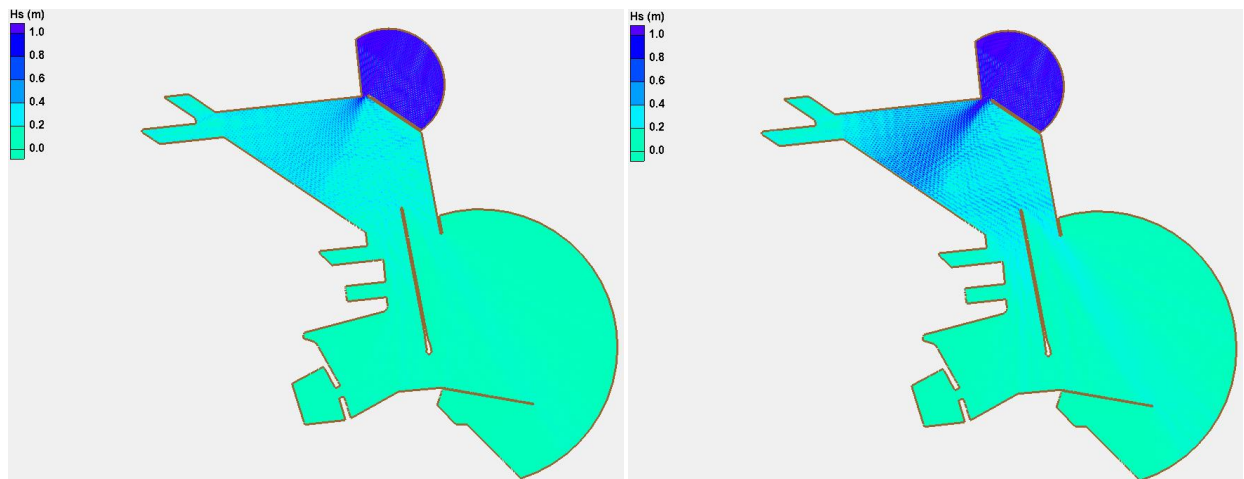
b) Valores promedio de Hs (m) para E11

Figura 3.8. Comparación de patrones de agitación entre escenarios E3 y E11.

3.3.4 Impacto de la incorporación de una boca falsa

Como se mencionó anteriormente, en este apartado se evalúan los patrones de agitación generados por el oleaje ingresante al recinto portuario a través de una boca falsa ubicada en el extremo superior del área de Maniobras. De acuerdo con la orientación de la misma, se consideró prioritario para los intereses del estudio analizar la propagación de olas desde las direcciones ENE y NE.

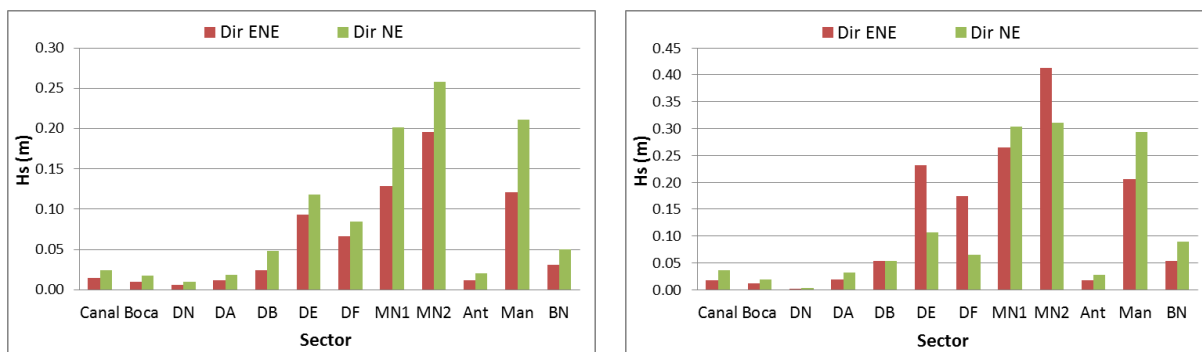
La Figura 3.9 muestra el ingreso y la distribución de alturas de ola dentro del recinto portuario producida por un oleaje incidente desde el NE. Se contemplaron los escenarios E1 y E1b, donde la apertura de la boca falsa corresponde a extensiones de 50 m y 100 m, respectivamente. Se observas que el ingreso del oleaje al área de Maniobras aumenta considerablemente con el incremento en la extensión de la apertura.



a) Escenario E1 con oleaje NE (Boca Falsa 50 m) b) Escenario E1b con oleaje NE (Boca 100 m)

Figura 3.9. Influencia de la apertura de la boca falsa sobre la agitación interior

Los gráficos de barras presentados en la Figura 3.10 muestran una comparación cuantitativa indicando valores de agitación obtenidos en ambos escenarios para las dos direcciones de oleaje analizadas. Los valores de H_s obtenidos en este análisis señalan que la agitación en los sectores más cercanos a la ubicación de la boca falsa (Maniobras, muelles MN1 y MN2, y dársenas DE y DF) aumentan considerablemente respecto de los valores observados para el resto de los escenarios analizados. Por el contrario, la propagación de olas hacia sectores más alejados del recinto (Antepuerto y dársenas DA, DB y DN) resulta sustancialmente disminuida, indicando valores que no superan los 0.05 m.



a) Valores promedio de Hs (m) para E1

b) Valores promedio de Hs (m) para E1b

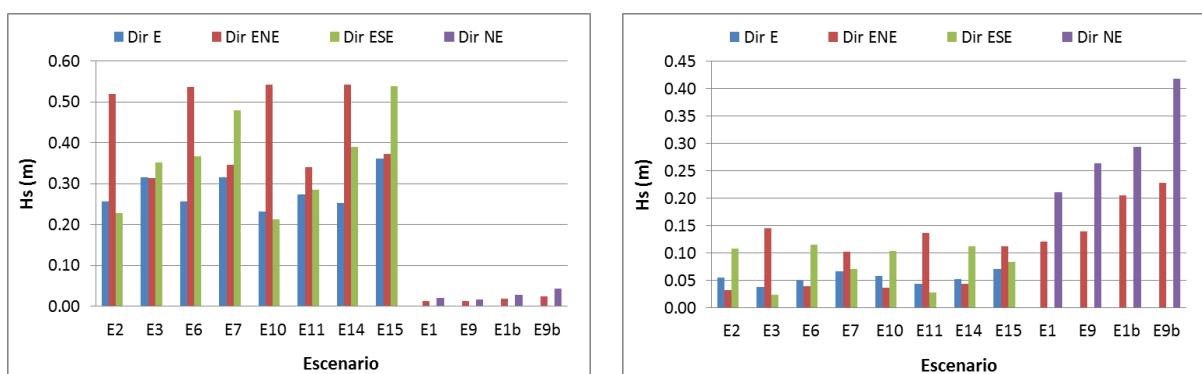
Figura 3.10. Comparación de patrones de agitación

Un resultado similar puede obtenerse evaluando los valores obtenidos para los escenarios E9 y E9b (Tabla 3.2), correspondientes a una configuración con extensión de relleno de 1500 m.

3.3.5 Variación de la agitación en sectores de interés

Otra forma interesante de evaluar los resultados de la modelación consiste en comparar los niveles de agitación obtenidos en distintos sectores destinados a la operación portuaria para las diferentes alternativas de proyecto analizadas.

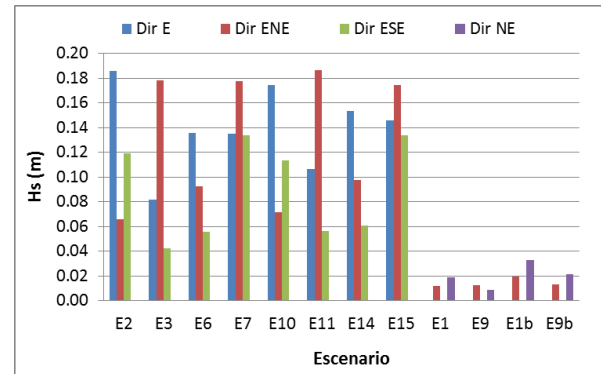
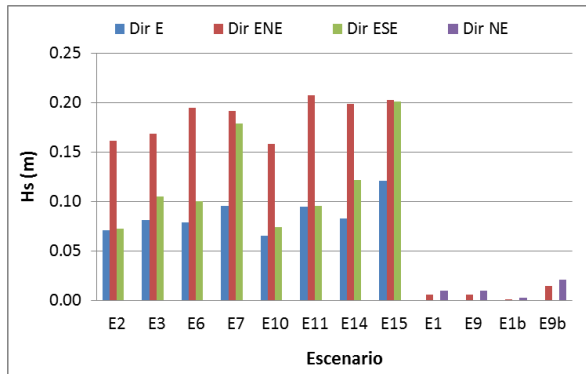
Los gráficos de barras presentados a continuación corresponden, cada uno, a un sitio particular del interior del puerto, indicando los valores de Hs (m) promedio que se obtendrían en esa ubicación para cada uno de los 12 escenarios evaluados. Este análisis contempla los siguientes sectores: áreas de maniobra (Figura 3.11), dársenas Norte y A (Figura 3.12), dársenas E y F (Figura 3.13) y muelles nuevos (Figura 3.14).



a) Valores promedio de Hs (m) en Antepuerto

b) Valores promedio de Hs (m) en Maniobras

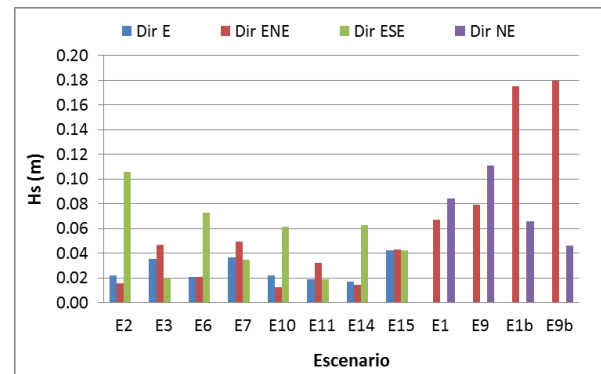
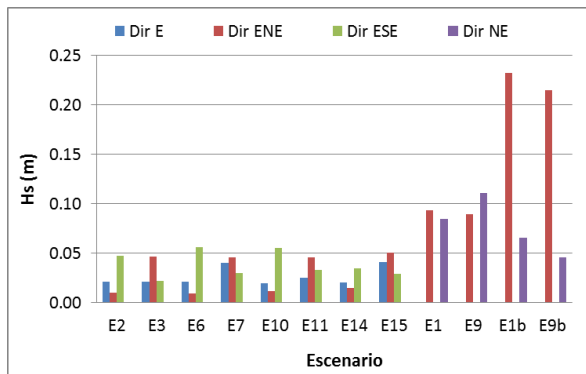
Figura 3.11. Agitación en áreas de maniobra para los escenarios analizados



a) Valores promedio de Hs (m) en Dársena Norte

b) Valores promedio de Hs (m) en Dársena A

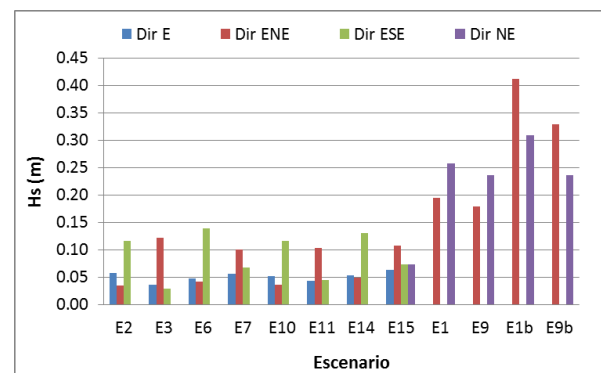
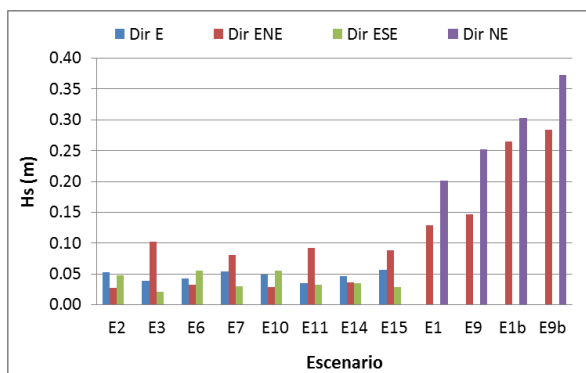
Figura 3.12. Agitación en Dársenas Norte y A para los escenarios analizados



a) Valores promedio de Hs (m) en Dársena E

b) Valores promedio de Hs (m) en Dársena F

Figura 3.13. Agitación en Dársenas E y F para los escenarios analizados



a) Valores promedio de Hs (m) en MN1

b) Valores promedio de Hs (m) en MN2

Figura 3.14. Agitación en muelles nuevos para los escenarios analizados

De la Figura 3.11 surge que, considerando las condiciones más desfavorables, los niveles de agitación promedio esperables para el área de Maniobras correspondiente a las nuevas configuraciones resultarían inferiores a los valores estimados para el Antepuerto en las condiciones actuales (Escenario E6). La Figura 3.11b muestra claramente que la mayor agitación en la zona de Maniobras se encuentra asociada a los escenarios que contemplan la incorporación de la boca falsa. Contrariamente, esta última modificación tiene una influencia poco significativa sobre el sector de Antepuerto, el cual no modificaría sustancialmente sus niveles de agitación con la incorporación de la misma.

Para la dársena Norte (Figura 3.12a) podrían esperarse cambios poco significativos respecto de los niveles de agitación promedio observados en las condiciones actuales. La dársena A puede sufrir un incremento en los valores promedio de H_s para varios escenarios futuros respecto de la configuración actual (E6), pero en ningún caso se superaría el nivel $H_s = 0.2$ m (Figura 3.12b). La dársena B no fue incluida en este análisis, pero los valores presentados en la Tabla 3.1 y la Tabla 3.2 indican en todos los casos niveles de agitación por debajo de $H_s = 0.1$ m.

La Figura 3.13 muestra que las dársenas E y F incrementan sustancialmente sus niveles de agitación para los escenarios que contemplan la incorporación de la boca falsa (E1 y E9). En ambos casos, los valores promedio de H_s resultan comparables a los de la dársena A, con la salvedad de que en la dársena E podría superarse el nivel de agitación $H_s = 0.2$ m con la apertura de una boca falsa de 100 m de extensión (Escenarios E1b y E9b).

Los muelles nuevos (Figura 3.14) se encuentran claramente expuestos al oleaje ingresante a través de la boca falsa. En el caso de MN1 podrían esperarse niveles medios de agitación del orden de $H_s = 0.25$ m con una apertura de 50 m de extensión, y valores próximos a $H_s = 0.4$ m para una apertura de boca de 100 m. En el caso de MN2, la agitación podría alcanzar en promedio niveles de $H_s = 0.30$ m para 50 m de apertura y superar valores de $H_s = 0.5$ m para la extensión de boca de 100 m (combinando el efecto del escenario E1b con alguno del resto con dirección de oleaje ENE).

3.4 Síntesis

Los resultados indican que, en términos generales, no se esperaran grandes incrementos sobre los valores promedios de H_s en los distintos sectores de interés para la operación del puerto respecto de las condiciones actuales. En efecto, si bien en algunos casos el impacto de las obras propuestas para modificar la planta portuaria (y la combinación de las mismas) puede favorecer un leve incremento en la energía del oleaje ingresante al recinto desde distintas direcciones, en ninguno de los escenarios analizados se observaron valores de agitación promedio para el sector de Antepuerto que pudieran superar las condiciones más desfavorables que las esperadas con la configuración actual. Del mismo modo, tampoco se esperan condiciones de agitación por encima de esos niveles en la zona de Maniobras proyectada para la configuración futura.

En los sectores de dársenas no se observaron incrementos significativos de agitación que pudieran afectar las condiciones de operación en las mismas. En este sentido, los casos más sensibles corresponden a las dársenas E y F, las cuales podrían estar influenciadas por la cercanía de una eventual una boca falsa si esta tuviera una apertura superior a los 50 m.

El caso de la agitación sobre los muelles nuevos, MN1 y MN2, también se encuentra sensiblemente influenciada por la presencia de la boca falsa. El resultado de los escenarios analizados mostró que un cambio en la extensión de la misma, pasando de 50 m a 100 m, produciría un incremento considerable en los valores promedio de H_s para ambos sectores.

4 SEDIMENTACIÓN

4.1 Consideraciones generales

En el Primer y Segundo 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 dársenas A, B, C, D, E y Terminal 6, en base al cual se estimaron distribuciones espaciales de sedimentación y tasas medias espaciales de sedimentación.

En este Tercer Informe de Avance se describe la metodología utilizada para modelar la sedimentación, se la calibra comparando con las tasas estimadas para la configuración actual del puerto, y se la aplica para estimar las tasas de sedimentación correspondientes a escenarios de proyecto.

4.2 Metodología de modelación

Para la simulación de la hidrodinámica y de la dinámica sedimentaria se aplicó el sistema de modelación Delft3D, desarrollado 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 es capaz de considerar 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 refinamiento¹.

El modelo hidrodinámico (Módulo FLOW) resuelve las ecuaciones tridimensionales 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 sobre una malla de

¹Paolo 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.

diferencias finitas. Las fluctuaciones turbulentas se incluyen en el modelo por medio de los esfuerzos de Reynolds, definidos a través de modelos de cierre de turbulencia (k-l, k- ϵ , etc.), constituyendo un tratamiento de tipo RANS (*Reynolds Averaged Navier Stokes*). 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.

Como una simplificación, el modelo hidrodinámico puede operar en modo 2D, resolviendo las ecuaciones integradas sobre la profundidad.

El código Delft3D simula 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 Rijn², pudiéndose también especificar otro tipo de formulaciones.

4.3 Calibración del modelo

Para calibrar el modelo sedimentológico se utilizaron como referencia las tasas medias de sedimentación para la configuración actual del puerto estimadas a partir de la comparación de relevamientos batimétricos, obtenidas en el Segundo Informe de Avance ('tasas observadas'). El dominio de modelación es el mismo que el presentado en el capítulo 4 ('Hidrodinámica del Puerto') del Segundo Informe de Avance.

El problema a simular es el de transporte de sedimentos finos en suspensión. El sedimento se caracterizó mediante un diámetro medio d_{50} de 25 micrones³, al que le corresponde una velocidad de caída de 0.0004 m/s. La tensión de corte crítica de sedimentación se estableció en 0.005 N/m². Para la concentración ambiente del sedimento en suspensión se adoptó el valor de 100 mg/l⁴. Este opera como condición de borde de concentración ingresante al dominio de cálculo para cada nodo de contorno durante los instantes en que hay flujo entrante. El modelo se operó con las condiciones mareológicas del periodo 01/mar/2004 al 30/mar/2004, que es representativo de condiciones hidrodinámicas normales. Se adoptó la formulación 2D.

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el mapa de tasas medias temporales de sedimentación obtenidas con el modelo para la configuración actual del puerto. Se observa que, en relación a las dársenas, las tasas tienden a ser menores en la dársena E y la Terminal 6. La tasa de sedimentación es mínima en el Canal de Pasaje. A partir de este mapa se determinaron, por integración, las tasas medias espaciales por dársena. Estos valores se muestran en la Tabla 4.1 y la Figura 4.2, donde también se indican las tasas medias observadas. El acuerdo general entre lo modelado y lo observado se considera satisfactorio. Se observa que los resultados del modelo muestran las mismas tendencias que los obtenidos de los relevamientos. Existe una tendencia del modelo a sobrestimar la tasa de sedimentación, lo cual se considera un criterio conservador razonable teniendo en cuenta que el modelo se utilizará para estimar las tasas asociadas a escenarios

²Van Rijn. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Amsterdam: Aqua Publications – I11. ISBN 90-800356-2-9, 1993.

³Monica Fossati (2013). "Dinámica global de sedimentos finos en el Río de La Plata". Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería, UdelaR. Montevideo, Uruguay.

⁴Monica Fossati (2013). "Dinámica global de sedimentos finos en el Río de La Plata". Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería, UdelaR. Montevideo, Uruguay.

futuros.

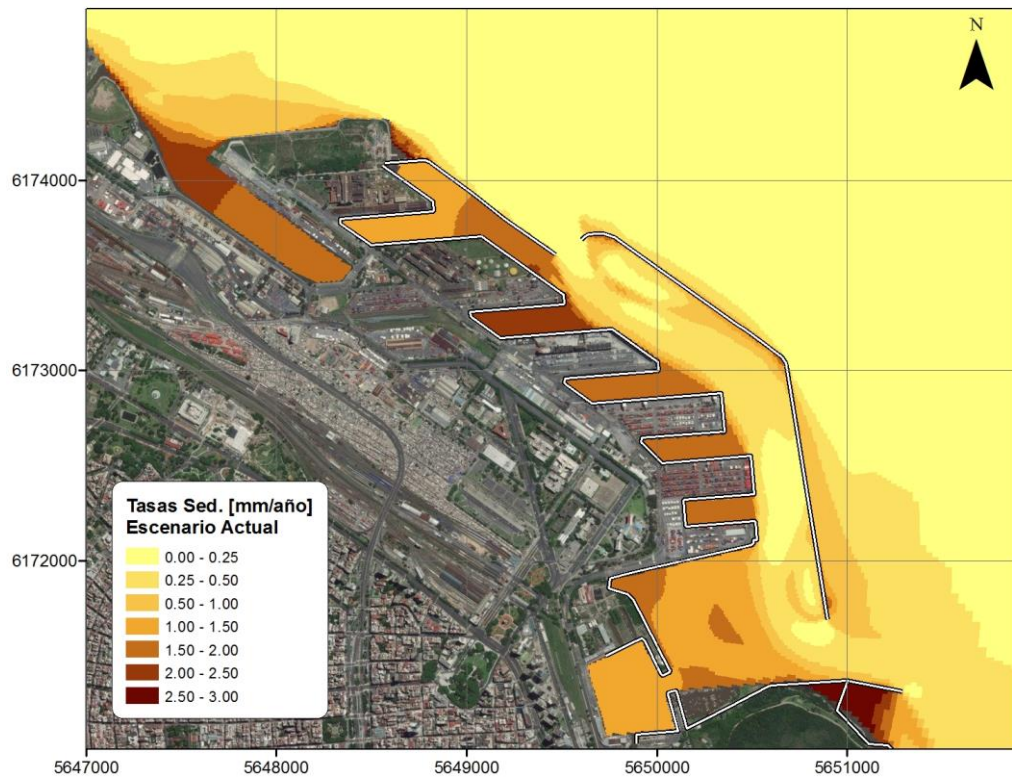


Figura 4.1. Distribución espacial de tasa media temporal de sedimentación para la configuración actual del puerto.

Tabla 4.1. Tasas medias de sedimentación en las dársenas.

Dársena	Tasa sedimentación observadas [mm/día]	Tasa sedimentación simuladas [mm/día]
A	1,8	1,8
B	1,5	1,6
C	1,4	1,8
D	1,7	2,0
E	1,0	1,4
Terminal 6	0,6	1,4

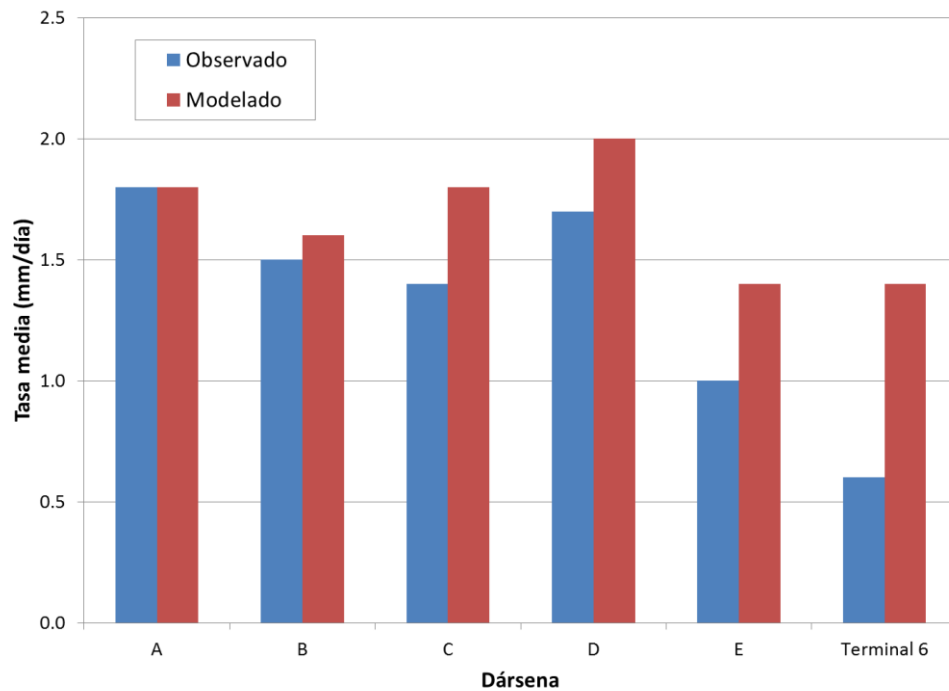


Figura 4.2. Tasas medias de sedimentación en las dársenas.

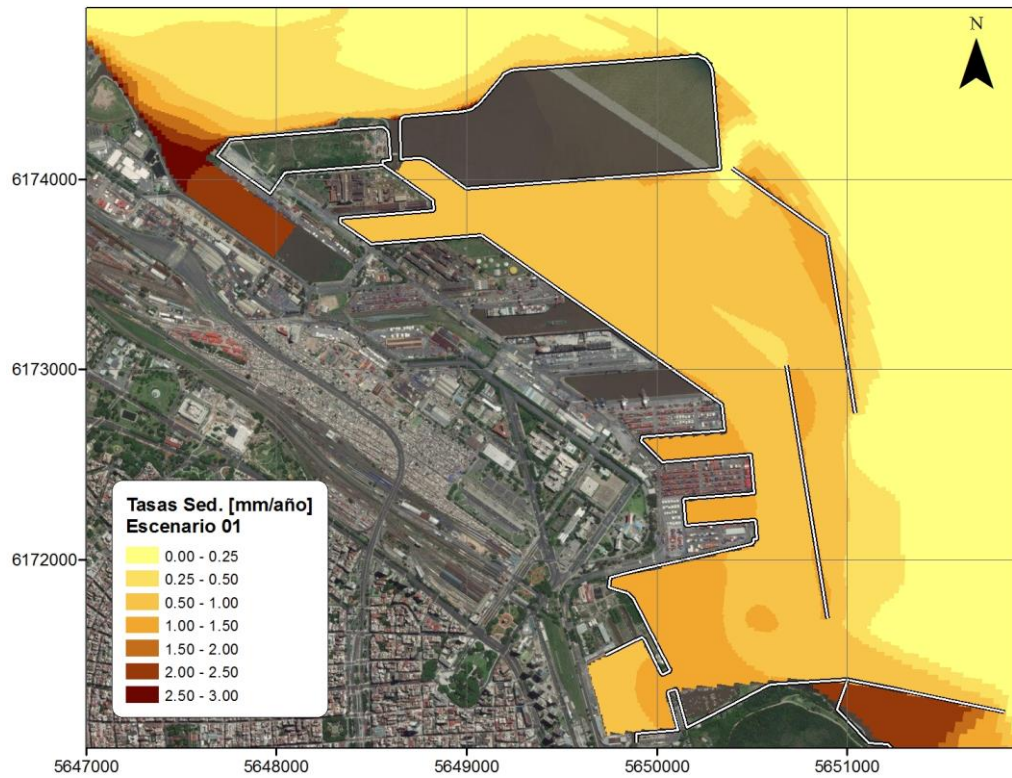
4.4 Escenarios Futuros

4.4.1 Tasas de sedimentación

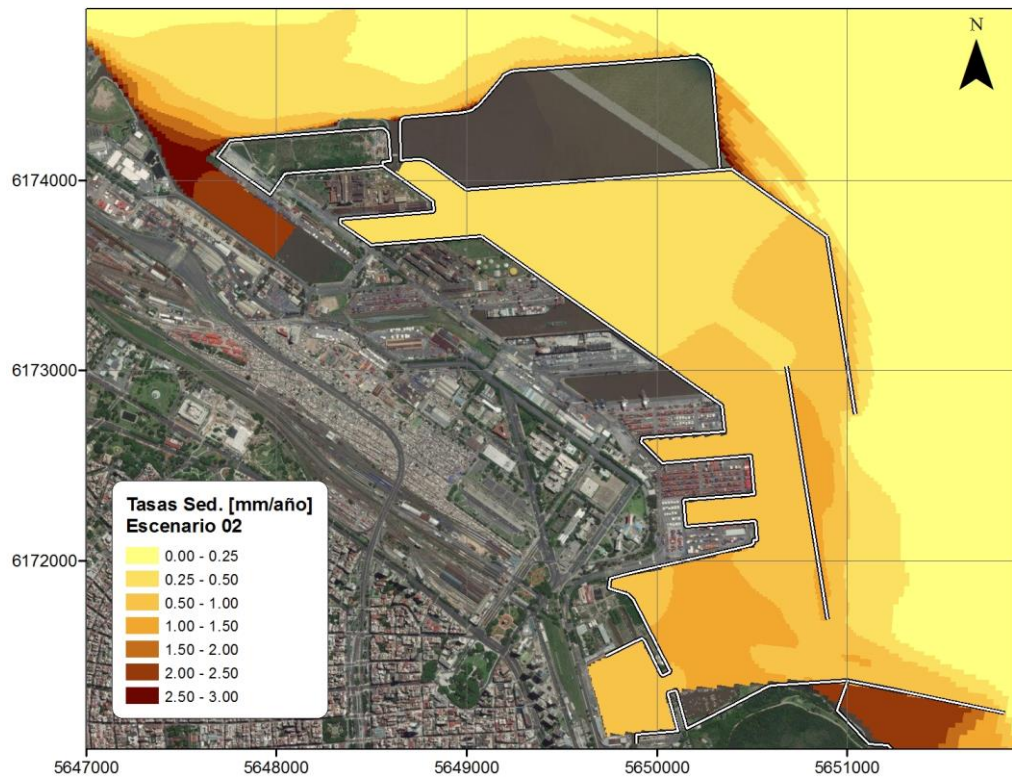
De entre los escenarios futuros planteados en el capítulo 2, se seleccionaron los siguientes a los fines de determinar las tasas de sedimentación asociadas:

- *Escenario 1:* Se lo consideró como escenario base.
- *Escenario 2:* Para determinar el efecto de eliminar la Boca Falsa.
- *Escenario 4:* Para determinar el efecto de la modificación del extremo sur de la escollera.
- *Escenario 5:* Para determinar el efecto de la extensión de la obra de abrigo Sur.
- *Escenario 9:* Para determinar el efecto de la extensión del relleno exterior.
- *Escenario 3:* Para determinar el efecto combinado de eliminar la Boca Falsa y modificar el extremo sur de la escollera.

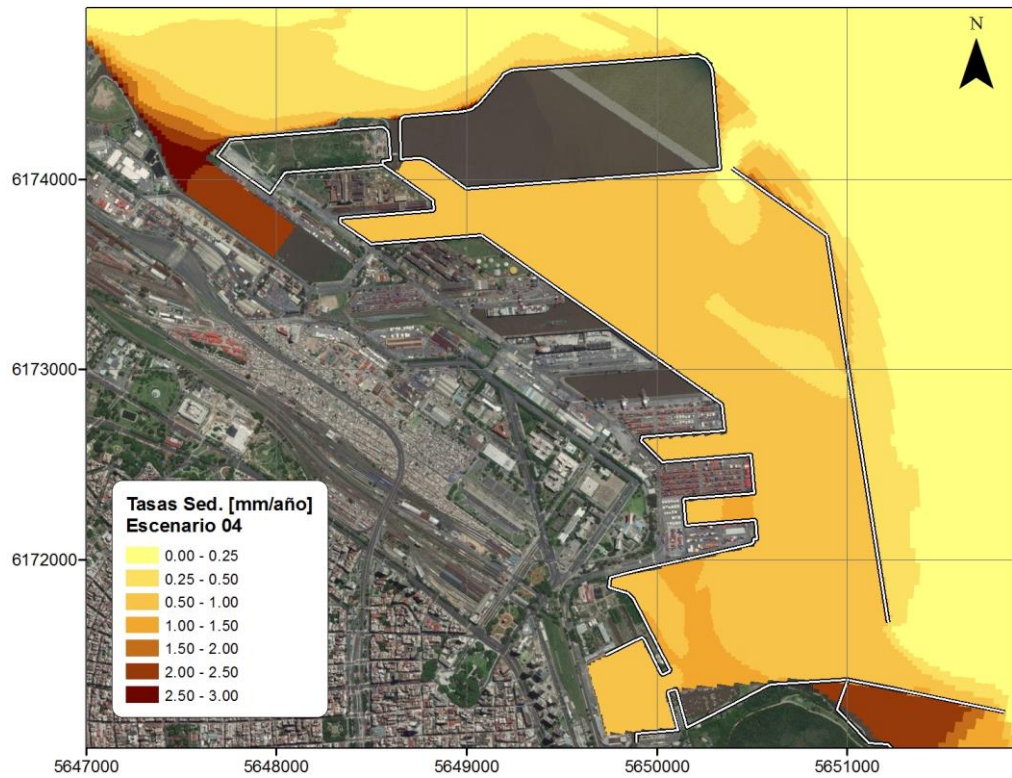
La Figura 4.3 muestra los mapas de distribución espacial de las tasas de sedimentación para los escenarios analizados.



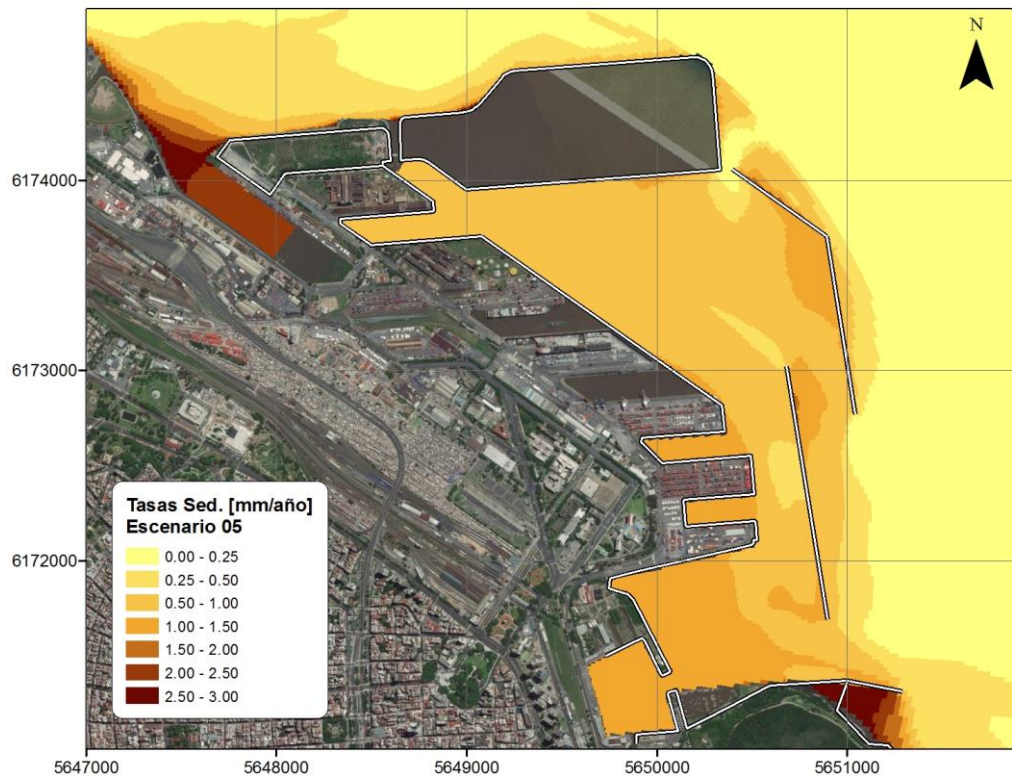
a) Escenario 1



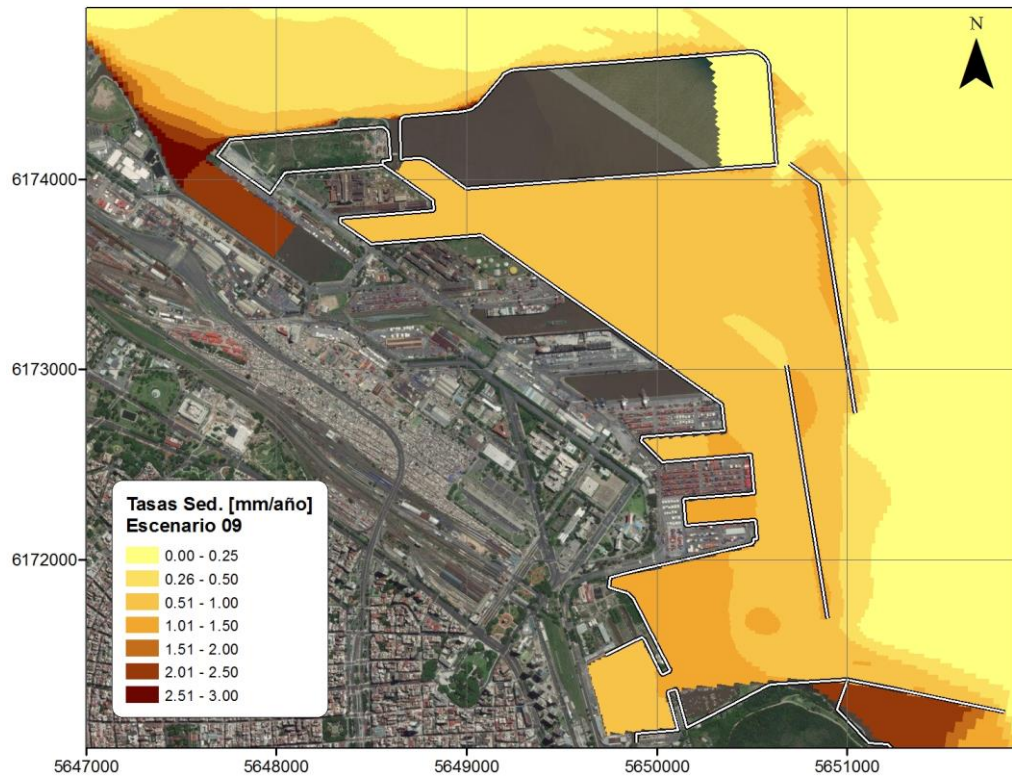
b) Escenario 2



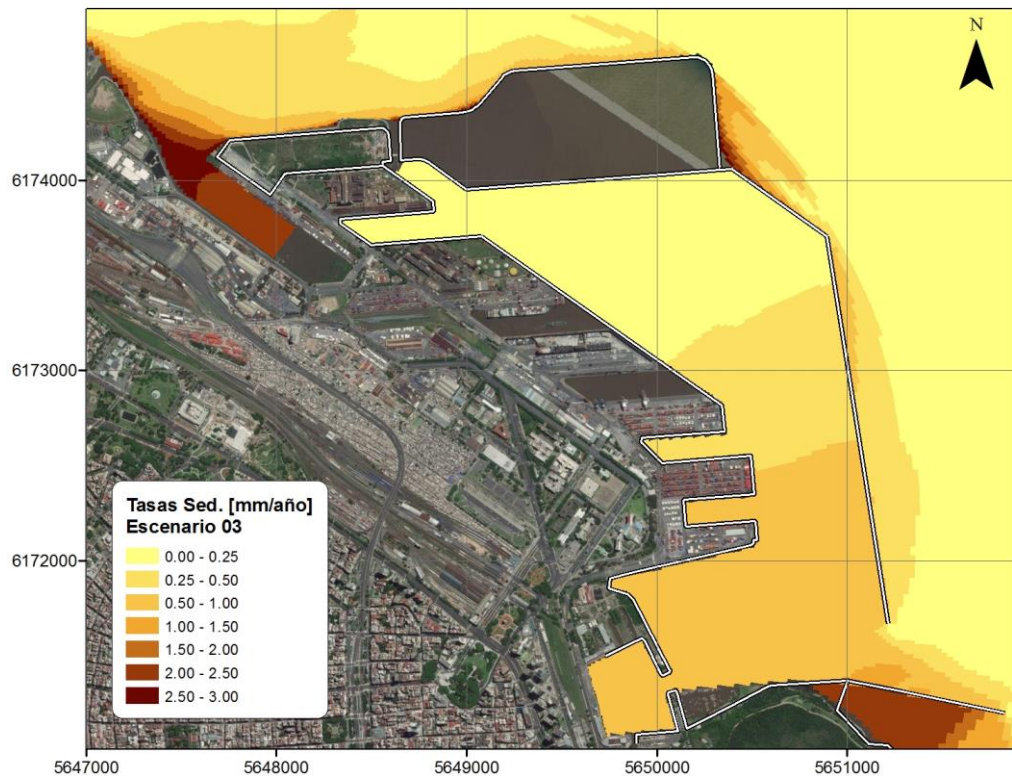
c) Escenario 4



d) Escenario 5



e) Escenario 9



f) Escenario 3

Figura 4.3. Tasas de sedimentación para escenarios futuros.

Para comparar los resultados obtenidos se determinaron las tasas medias espaciales de sedimentación en los sectores que se indican en la Figura 4.4. Los resultados se presentan en la Tabla 4.2 y la Figura 4.5, donde también se incluyen los valores correspondientes a la configuración actual como referencia. Se observa que:

- Las tasas esperadas para las dársenas A, B, E y la Terminal 6 son significativamente menores a las actuales para todos los escenarios. La mayor reducción se da para el Escenario 2, en el que se elimina la Boca Falsa.
- En cambio, para todos los escenarios la sedimentación en el Antepuerto sería algo mayor en relación a la situación actual.
- No habría cambios significativos en la tasa de sedimentación sobre el Canal de Acceso, aunque se detecta una leve disminución para el Escenario 5, en el cual no se extiende la obra de abrigo Sur.
- Para la zona de maniobras la tasa de sedimentación es mínima para el Escenario 2 (sin Boca Falsa).

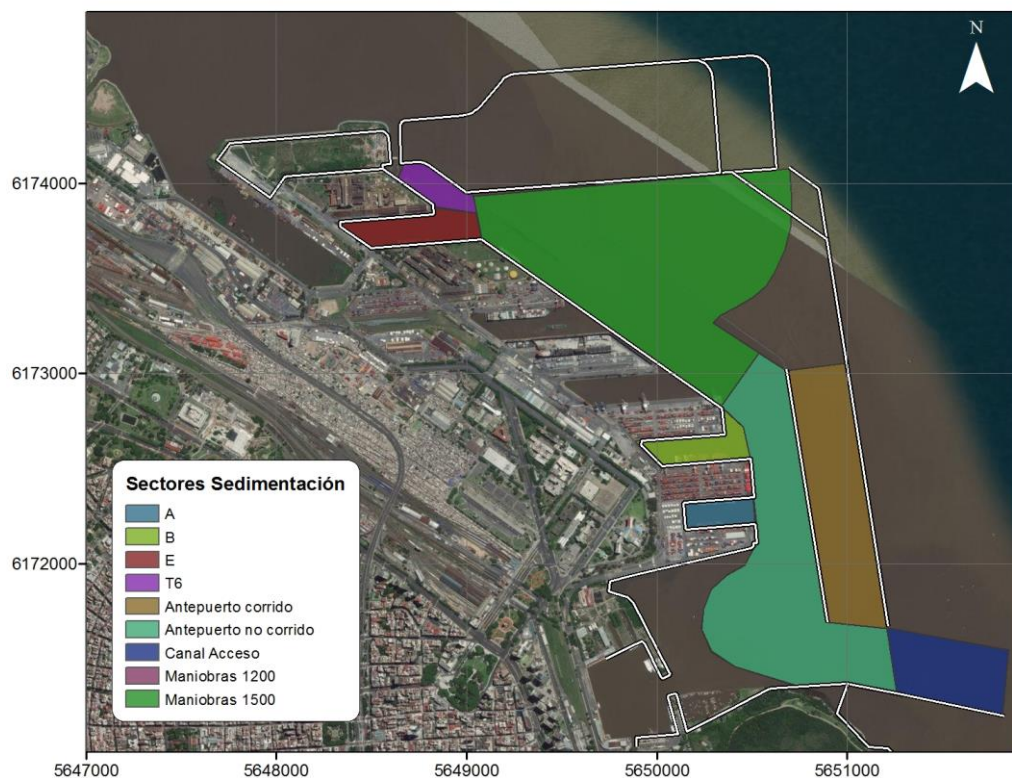


Figura 4.4. Sectores de análisis de tasas de sedimentación.

Tabla 4.2. Tasas medias de sedimentación en los sectores para escenarios futuros.

Sector	Actual [mm/día]	Esc. 1 [mm/día]	Esc. 2 [mm/día]	Esc. 4 [mm/día]	Esc. 5 [mm/día]	Esc. 9 [mm/día]	Esc. 3 [mm/día]
Dársena A	1,8	1,2	0,9	1,0	1,3	1,2	0,6
Dársena B	1,6	1,1	0,7	0,8	1,1	1,0	0,4
Dársena E	1,4	0,7	0,3	0,6	0,7	0,6	0,1
Terminal 6	1,4	0,7	0,3	0,6	0,7	0,6	0,1
Canal Acceso	0,3	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,4
Antepuerto	0,6	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,6
Zona maniobras	0,7	0,8	0,4	0,7	0,8	0,8	0,2

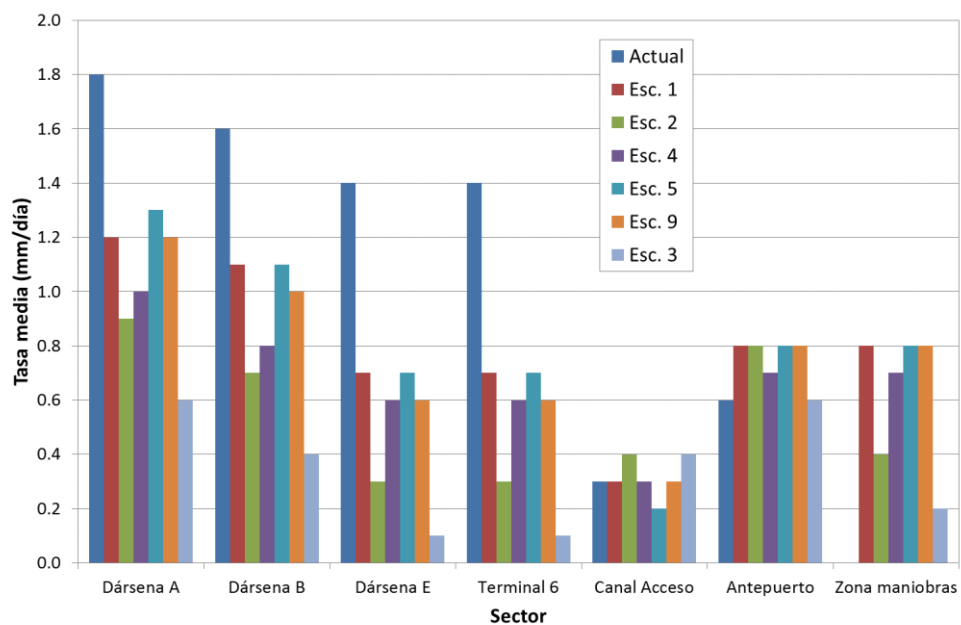


Figura 4.5. Tasas medias de sedimentación en los sectores para escenarios futuros.

4.4.2 Volúmenes de sedimentación

Adicionalmente, se determinaron los volúmenes anuales de sedimentación en los sectores anteriormente indicados, que constituyen una estimación del dragado de mantenimiento. Los resultados se presentan en la Tabla 4.3 **Tabla 4.3**. Volúmenes anuales sedimentados en los sectores para escenarios futuros y la Figura 4.6, donde también se incluyen los valores correspondientes a la configuración actual como referencia. Se observa que:

- Los Escenarios 1, 4, 5 y 9 presentan volúmenes anuales sedimentados mayores al actual, con un aumento cercano al 40%. Este aumento es compatible con el incremento del área del puerto, que crece en más de un 50% respecto del actual.
- Por el contrario, los Escenarios 2 y 3 tienen volúmenes levemente menores al del puerto actual, con reducciones del 2 y 12% respectivamente. Esto debe adjudicarse a la eliminación de la Boca Falsa, que evita la penetración de agua al puerto, con la consiguiente carga de sedimentos, durante la marea bajante.
- Para los escenarios futuros los volúmenes sedimentados en la zona de maniobras y en el Antepuerto representan más del 80% del volumen total sedimentado.
- Los Escenarios 2 y 3 (sin Boca Falsa) presentan un fuerte descenso de los volúmenes sedimentados en la zona de maniobras

Tabla 4.3. Volúmenes anuales sedimentados en los sectores para escenarios futuros.

Sector	Actual [m ³ /año]	Esc. 1 [m ³ /año]	Esc. 2 [m ³ /año]	Esc. 4 [m ³ /año]	Esc. 5 [m ³ /año]	Esc. 9 [m ³ /año]	Esc. 3 [m ³ /año]
Dársena A	28580	19199	14126	15695	20294	18433	9965
Dársena B	40844	25550	16571	19929	26536	23871	10074
Dársena E	48217	24200	10950	19455	24492	20550	4636
Terminal 6	26974	13724	5767	11023	13870	11607	2628
Canal Acceso	22010	21791	25404	22192	17885	23287	29930
Antepuerto	152972	202429	215350	280868	212941	204765	261340
Zona maniobras	115705	280430	140160	224220	282145	325215	65116
TOTAL	435299	587322	428328	593381	598162	627727	383688

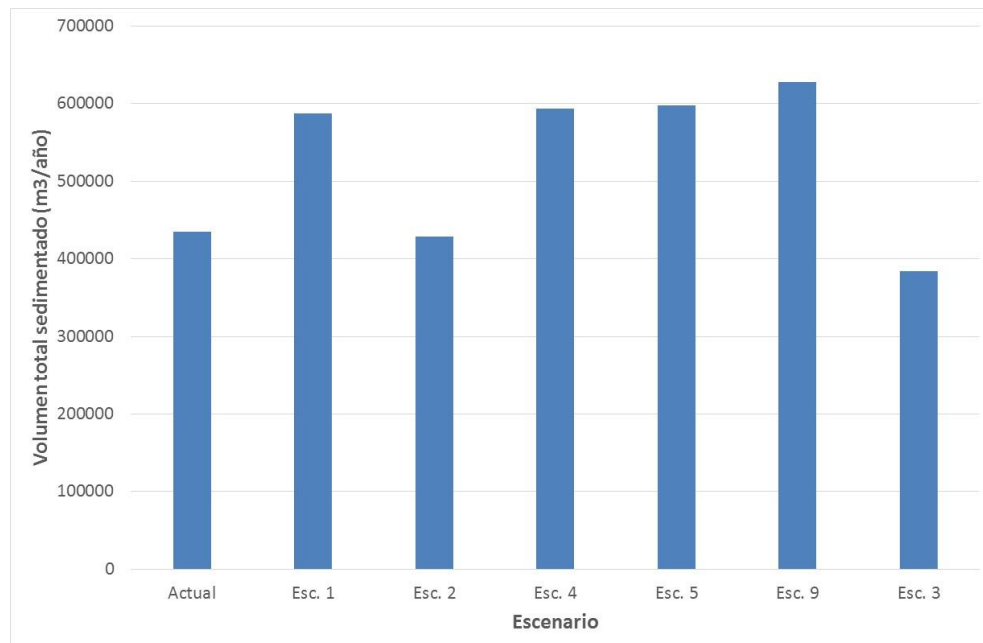


Figura 4.6. Volúmenes anuales totales sedimentados en los sectores para escenarios futuros.

4.4.3 Análisis

De los resultados presentados surge que:

- En las dársenas y en la zona de maniobras se observan las menores tasas de sedimentación y volúmenes sedimentados para las configuraciones que no poseen boca falsa (Escenarios 2 y 3).
- En el Antepuerto las menores tasas de sedimentación se presentan con el esquema sin boca falsa y con la escollera modificada (Escenario 3). Sin embargo, el volumen sedimentado es mayor que para el caso sin boca falsa y escollera sin modificar (Escenario 2), al presentar aquel escenario mayor superficie en dicha zona.
- Si se analizan en conjunto la zona de maniobras y del antepuerto, que son las que explican el mayor porcentaje de volumen sedimentado, se observa que la configuración óptima, en cuanto a menores volúmenes, es la que tiene la escollera modificada y no presenta boca falsa.
- Para el Canal de Acceso las menores tasas y volúmenes sedimentados se presentan sin la extensión de la Obra de Abrigo Sur (Escenario 5).

En base a estas observaciones se infirió que la configuración óptima del puerto, en cuanto a menores volúmenes, sería la que no tiene boca falsa, y tiene la escollera modificada y la obra de abrigo sur sin extender, es decir el Escenario 7 (para un relleno de 1200 m) y el Escenario 15 (para un relleno de 1500 m). Se procedió entonces a simular estos dos escenarios. Las correspondientes tasas de sedimentación se muestran en la Figura 4.7 y la Figura 4.8, respectivamente. La

Tabla **4.4** muestra las tasas espaciales medias y los volúmenes sedimentados para dichos escenarios. Comparando con la Tabla 4.3 se observa que, efectivamente, resultan volúmenes sedimentados menores, e incluso inferiores a los del puerto actual.

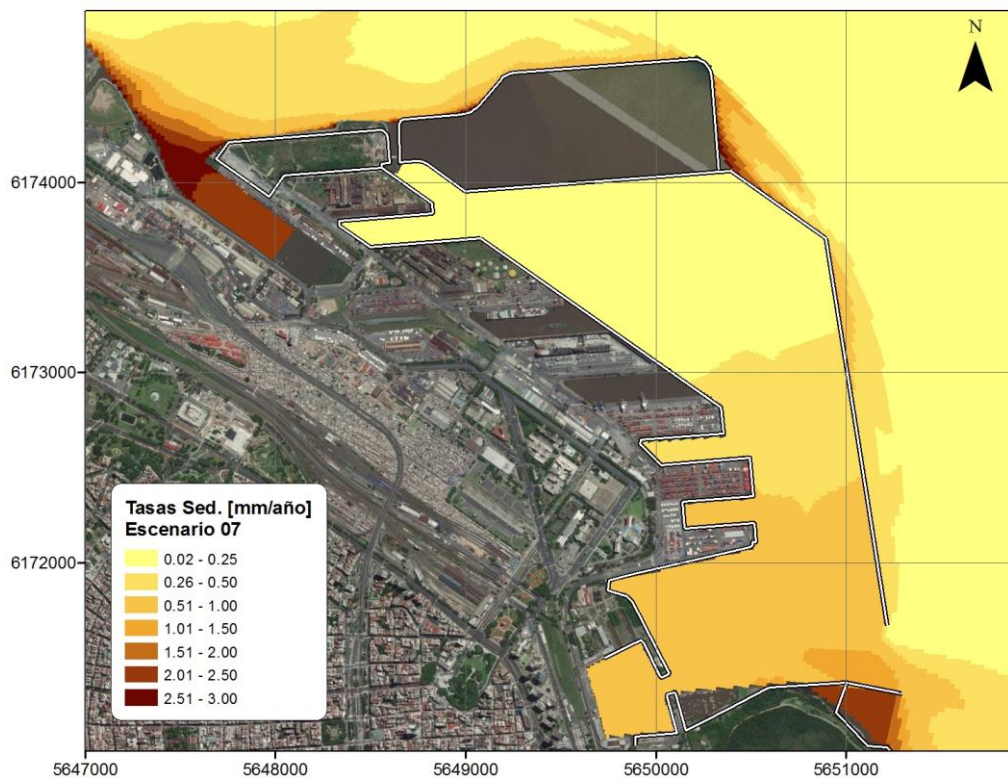


Figura 4.7. Tasas de sedimentación para el Escenario 7.

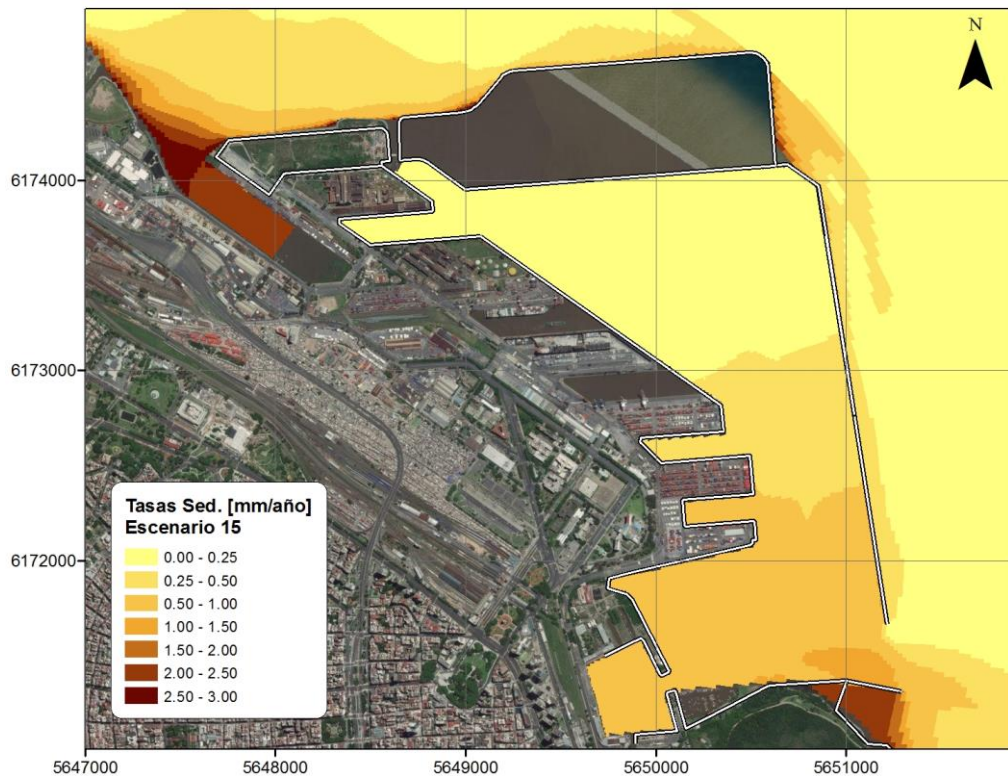


Figura 4.8. Tasas de sedimentación para el Escenario 15.

Tabla 4.4. Tasas de sedimentación medias y volúmenes anuales sedimentados para los escenarios 7 y 15.

Sector	Tasa sed. Actual [mm/día]	Tasa sed. Esc. 7 [mm/día]	Tasa sed. Esc. 15 [mm/día]	Vol. Sed. Actual [m³/año]	Vol. Sed. Esc. 7 [m³/año]	Vol. Sed. Esc. 15 [m³/año]
Dársena A	1,8	0,6	0,6	28580	10074	10074
Dársena B	1,6	0,4	0,4	40844	9198	9125
Dársena E	1,4	0,1	0,1	48217	4015	3942
Terminal 6	1,4	0,1	0,1	26974	2300	2373
Canal Acceso	0,3	0,4	0,4	22010	25733	27229
Antepuerto	0,6	0,7	0,7	152972	266304	262581
Zona maniobras	0,7	0,2	0,2	115705	56575	69204
TOTAL	-	-	-	435299	374198	384528

5 DESCARGAS TÉRMICAS

5.1 Consideraciones generales

Las dos centrales térmicas instaladas en el puerto (CPN y CNP) captan agua para su sistema de refrigeración desde el propio puerto, a través de sendas obras de toma ubicadas ambas en la dársena E (Figura 5.1).

La boca de la toma de agua para la CPN tiene una altura de 3 m, entre las cotas -4,65 y -7,65 m IGN, y se extiende a lo largo de 48 m. Está compuesta por 9 vanos, cada uno de 3 m de ancho, con separadores de 2 m, con la excepción del “separador de guarda” que tiene un ancho de 7 m. La obra de toma para la CNP es absolutamente similar a la anterior, sólo que está constituida por 6 bocas.

Por su parte, la descarga de la CPN tiene lugar en el frente del 5° espigón (Figura 5.1), mediante un conducto a presión de 2,5 m de alto, entre cotas -4,0 y -6,5 m IGN, y 27 m de ancho, con separadores de un ancho del orden de 1 m. Estos aportes de agua de menor densidad generan una estratificación térmica en su entorno, cuya representación requiere apelar a la modelación numérica tridimensional.

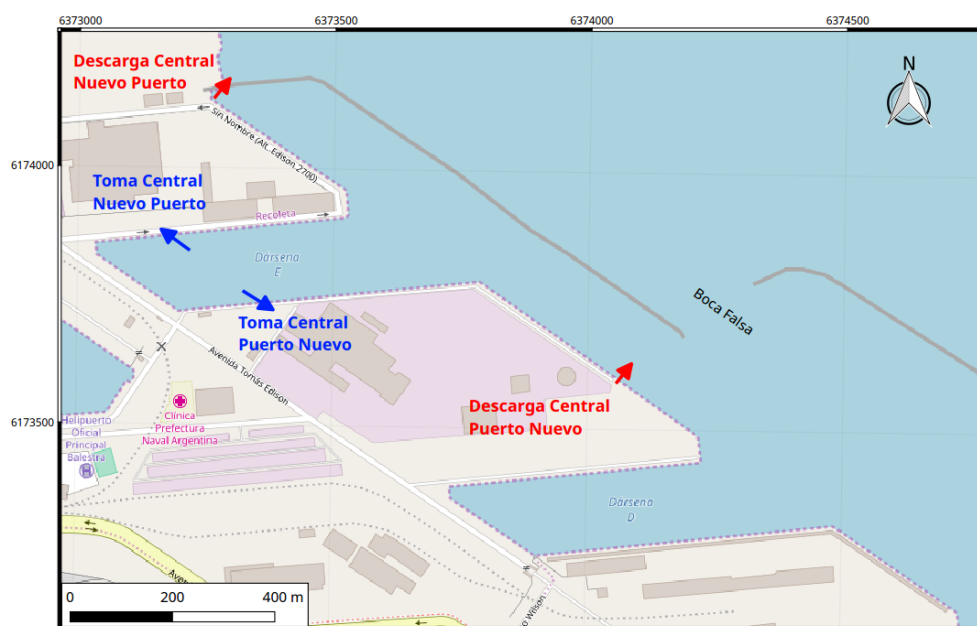


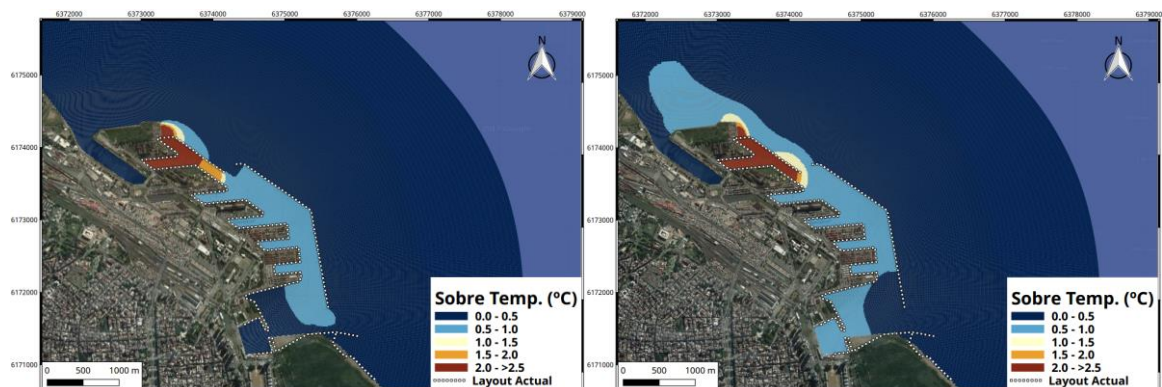
Figura 5.1. Ubicación de las obras de toma y descarga de agua de refrigeración de las centrales térmicas.

En el Segundo Informe de Avance se mostraron resultados preliminares sobre este problema para la configuración actual del puerto. En este Tercer Informe de Avance se presentan los resultados más precisos utilizando una discretización vertical más fina, y se efectúan proyecciones para el puerto proyectado.

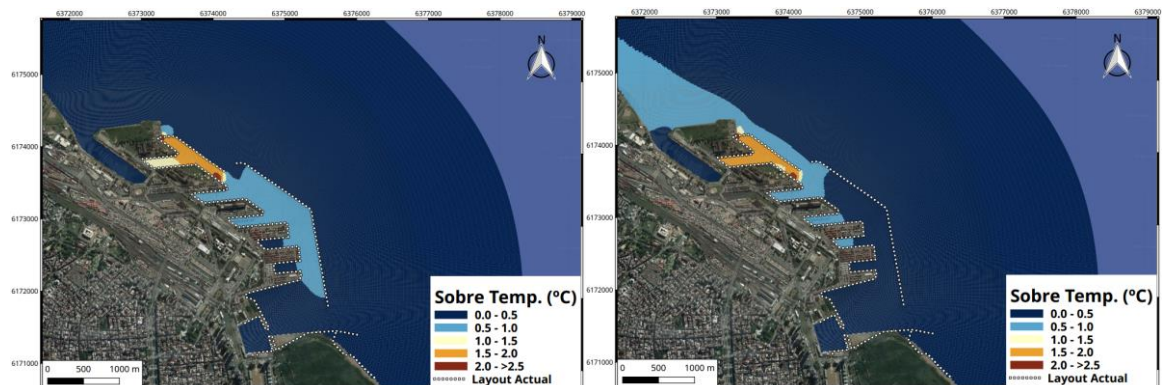
5.2 Configuración actual

Se adoptó una discretización de 20 capas en la dirección vertical. Se consideró una temperatura de base de 19°C y una sobretemperatura de +10°C en las descargas, lo cual constituye un escenario de máxima. Se incluyeron las succiones de las tomas de las dos centrales en la dársena E, siendo la de la CNP de 14,0 m³/s y la de CPN de 18,2 m³/s. Además, se representaron las dos descargas en sus respectivas ubicaciones, con caudales equivalentes.

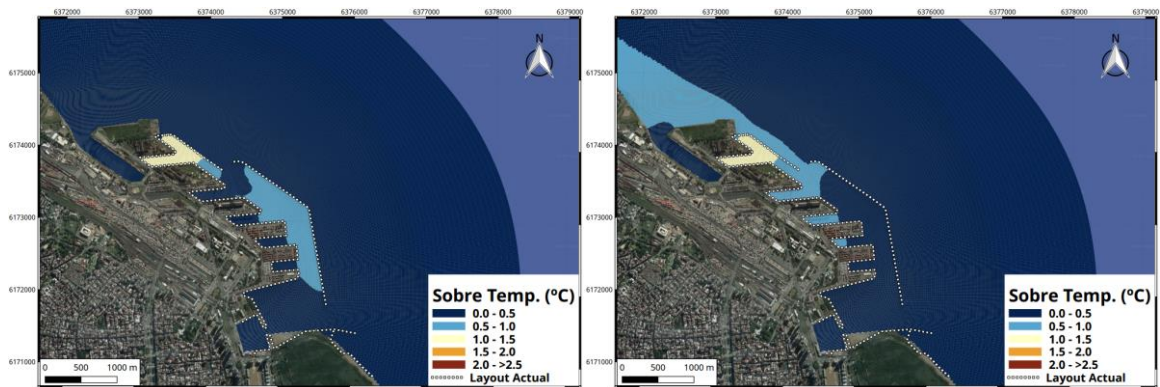
En la Figura 5.2 se presentan las distribuciones de sobretemperatura correspondientes a distintas capas para un instante de marea creciente y uno de marea bajante. Se observa claramente la generación de relativamente altas sobretemperaturas (mayores a 2°C) en la capa superior, generadas por las descargas, que disminuyen hacia el fondo, donde la sobretemperatura es menor a 1°C excepto en la dársena E y el tramo final del Canal de Pasaje. En el caso de la CNP la zona de estratificación es relativamente estrecha, al producirse la descarga en una zona de relativamente alta dilución fuera del recinto portuario. En cambio, la resultante de la CPN se desarrolla sobre una extensión mayor, al generarse dentro del puerto, donde la hidrodinámica es menos intensa.



a. Capa Superior



b. Capa de profundidad media



c. Capa de fondo

Figura 5.2. Distribución de sobretemperatura para la configuración actual (izq.: bajante; der.: creciente)

5.3 Configuración futura

Se efectuaron ensayos con el modelo tridimensional para la configuración futura del puerto, de modo de establecer el alcance del proceso de estratificación por la descarga térmica. De entre los escenarios futuros posibles, se seleccionaron los que tienen asociada la menor tasa de sedimentación y relativamente baja agitación, a saber, los Escenarios 7 y 15, que comparten las siguientes condiciones:

- Sin boca falsa
- Escollera sur modificada
- Sin extensión de la Obra de Abrigo Sur

La única diferencia entre ambos escenarios es la extensión del relleno (1200 m y 1500 m, respectivamente).

En la Figura 5.3 se muestran las distribuciones de sobretemperatura para el Escenario 7. Para el interior portuario se observa que, bajo el influjo de la descarga de la CPN, ahora las relativamente altas sobretemperaturas (mayores a 2°C) penetran hasta la capa de fondo, aunque la extensión de esta zona 'caliente', que para la capa superior abarca esencialmente la totalidad de la zona portuaria (sólo queda exceptuado el Antepuerto), disminuye hacia el fondo. Las diferencias entre los estados de creciente y bajante son relativamente poco significativas. La sobretemperatura en la capa de fondo, dentro de la zona portuaria, es siempre superior a 1°C. Para el exterior portuario, el efecto de la descarga de la CNP parece aún menos significativo que para el caso de la configuración actual del puerto.

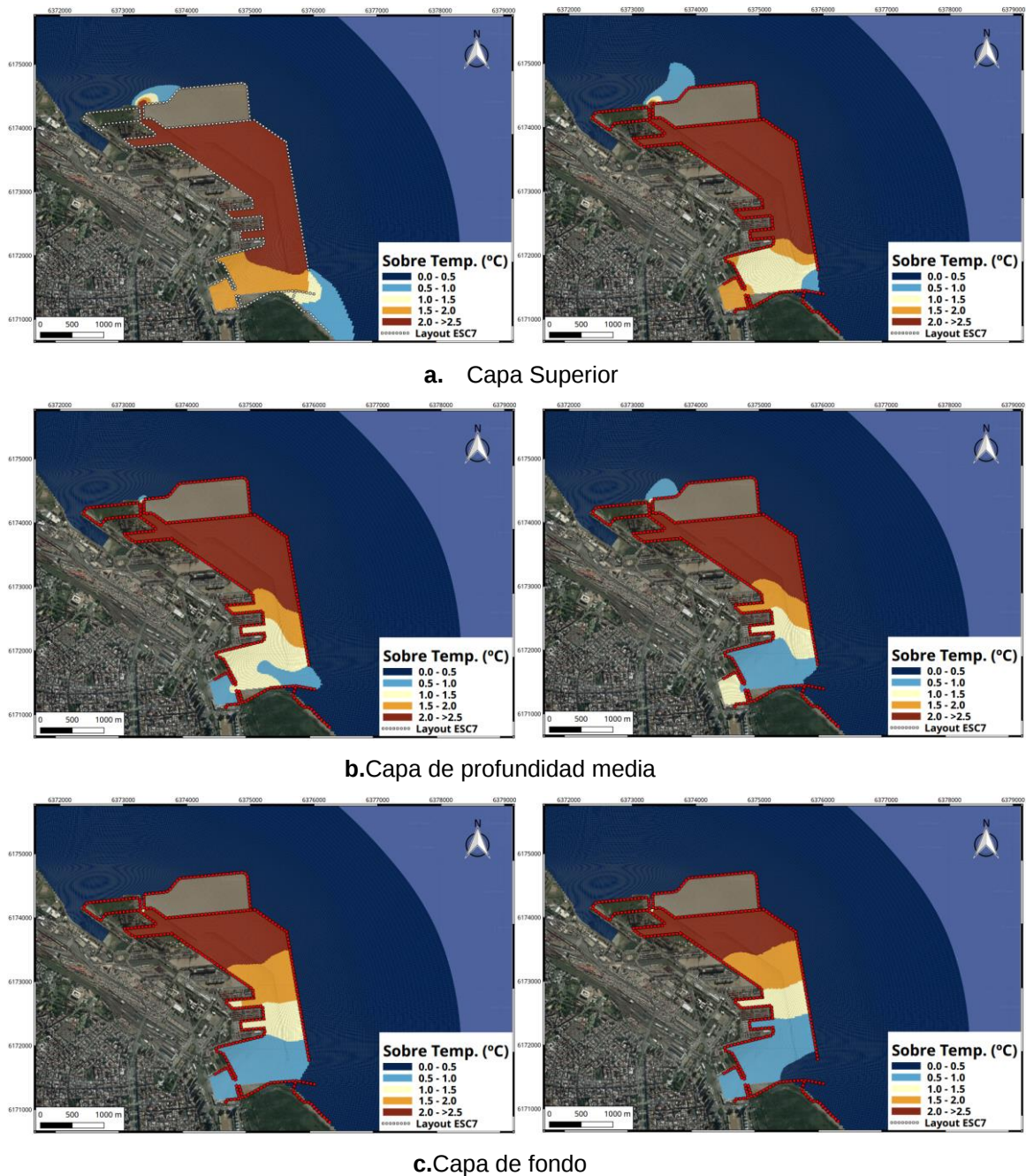


Figura 5.3. Distribución de sobretemperatura para el Escenario 7 (izq.: bajante; der.: creciente)

La Figura 5.4 presenta los resultados para el Escenario 15. Se observa que son cualitativamente similares a los del Escenario 7 (Figura 5.3). La diferencia cuantitativa más notable es que la sobretemperatura cae por debajo de 2°C en el fondo, lo cual se explica por la mayor extensión del dominio portuario.

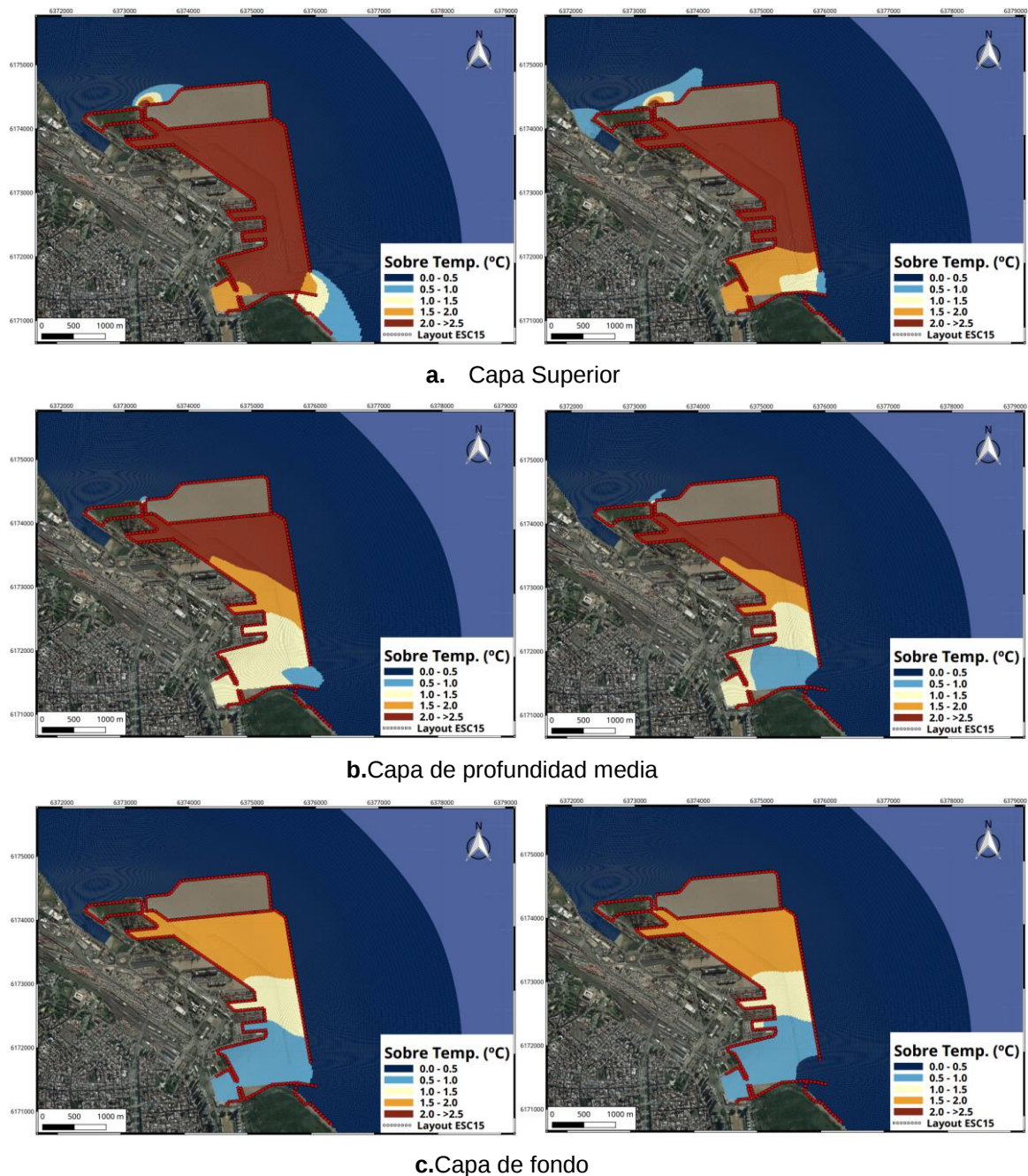
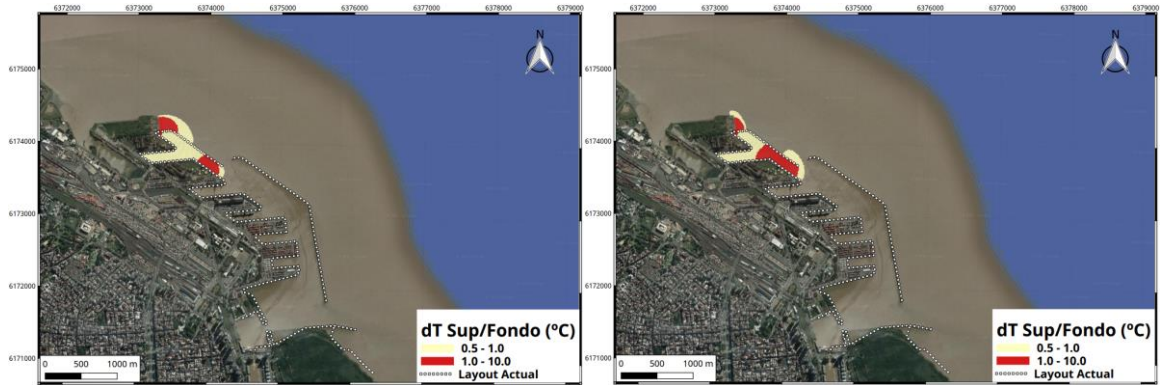


Figura 5.4. Distribución de sobretemperatura para el Escenario 15 (izq.: bajante; der.: creciente)

5.4 Estratificación

Como un indicador de la estratificación térmica, se calculó la diferencia de temperatura entre la capa de superficie y la de fondo. La Figura 5.5 muestra los resultados correspondientes a los tres escenarios analizados donde se han distinguido dos umbrales de salto térmico, a saber, $0,5^{\circ}\text{C}$ y 1°C , que establecen una zona sin estratificación (diferencia $< 0,5^{\circ}\text{C}$), una con estratificación moderada (diferencia entre $0,5^{\circ}\text{C}$ y 1°C) y una con estratificación significativa

($>1^{\circ}\text{C}$). Se observa que, mientras que para la configuración actual la estratificación térmica desaparece debido al efecto de ‘refresco’ que produce la Boca Falsa, en el caso de los escenarios futuros básicamente todo el recinto portuario se ve afectado por una estratificación significativa, salvo en la zona del Antepuerto durante la creciente.



a. Configuración actual



b. Escenario 7



c. Escenario 15

Figura 5.5. Distribución de diferencia de temperatura entre superficie y fondo (izq.: bajante; der.: creciente)

Como complemento, se generaron las distribuciones del perfil vertical de temperatura a lo largo de un corte desde la Dársena E hasta el Canal de Acceso (Figura 5.6) para los tres escenarios. Estas se presentan en la Figura 5.7. Se observa que las temperaturas resultan más altas para los escenarios futuros, lo cual se debe a una menor circulación del agua por la ausencia de la Boca Falsa. Por otro lado, se nota que el espesor de la capa cálida es siempre notable desde la descarga (alrededor de progresiva 1000 m) hacia la dársena E, mientras que desaparece (configuración actual) o se hace mucho más fino (escenarios futuros) en dirección al Canal de Acceso.

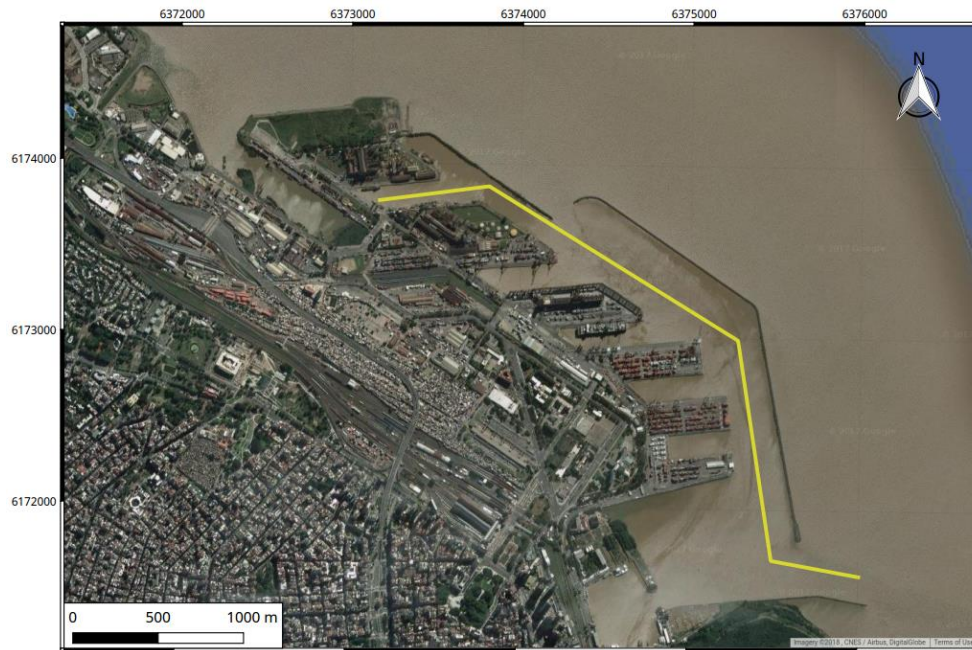
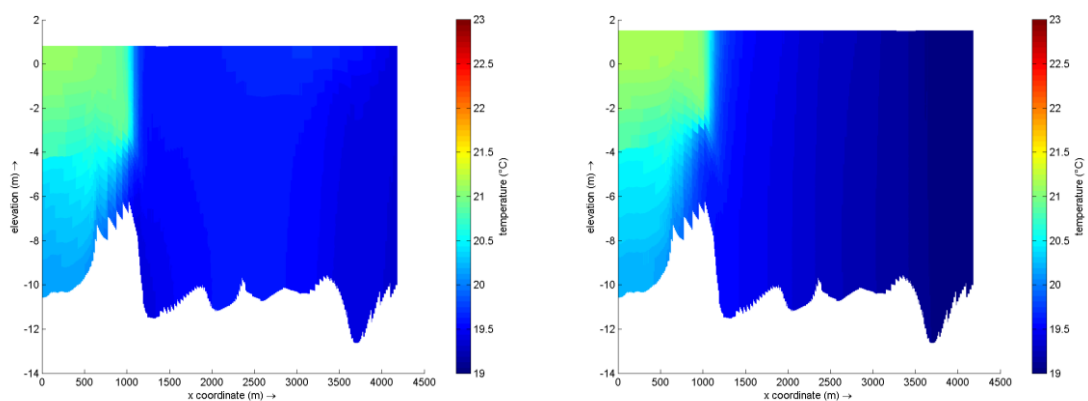


Figura 5.6. Trazo del perfil vertical de temperatura



a. Configuración actual

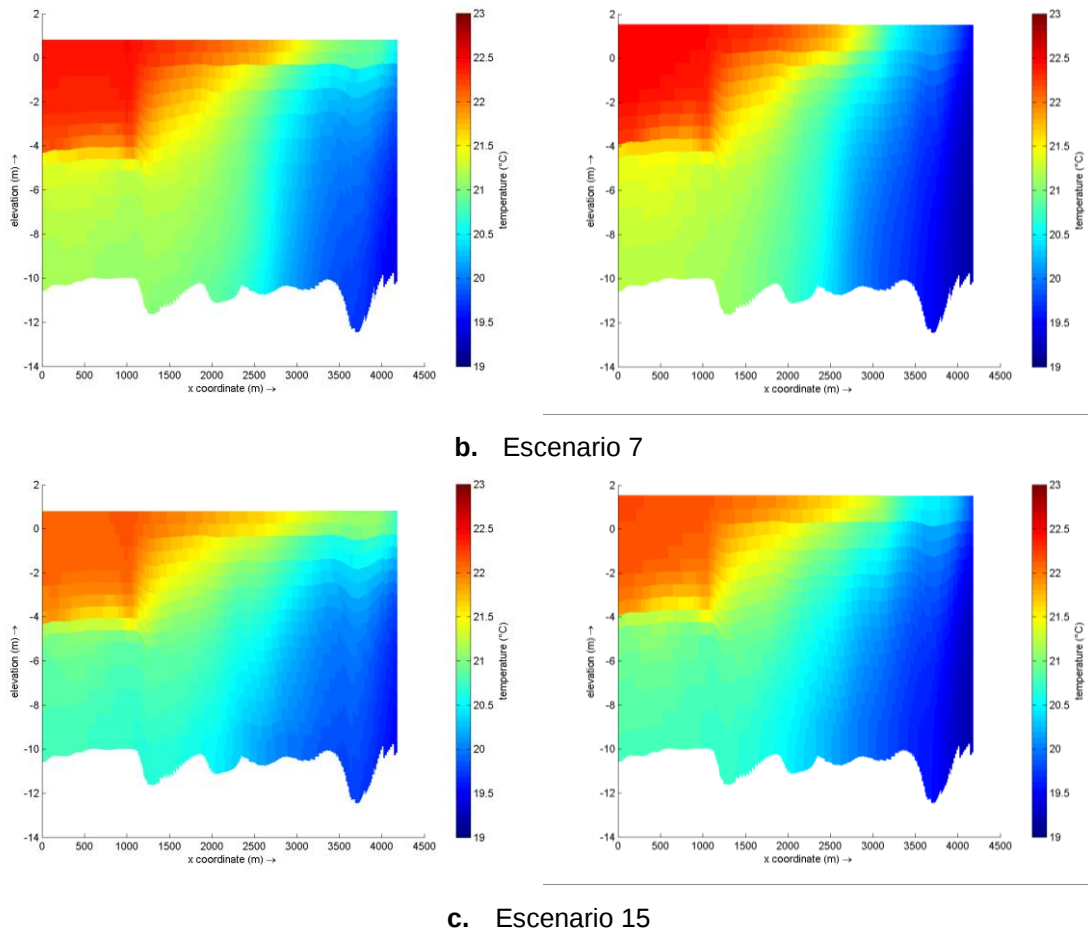
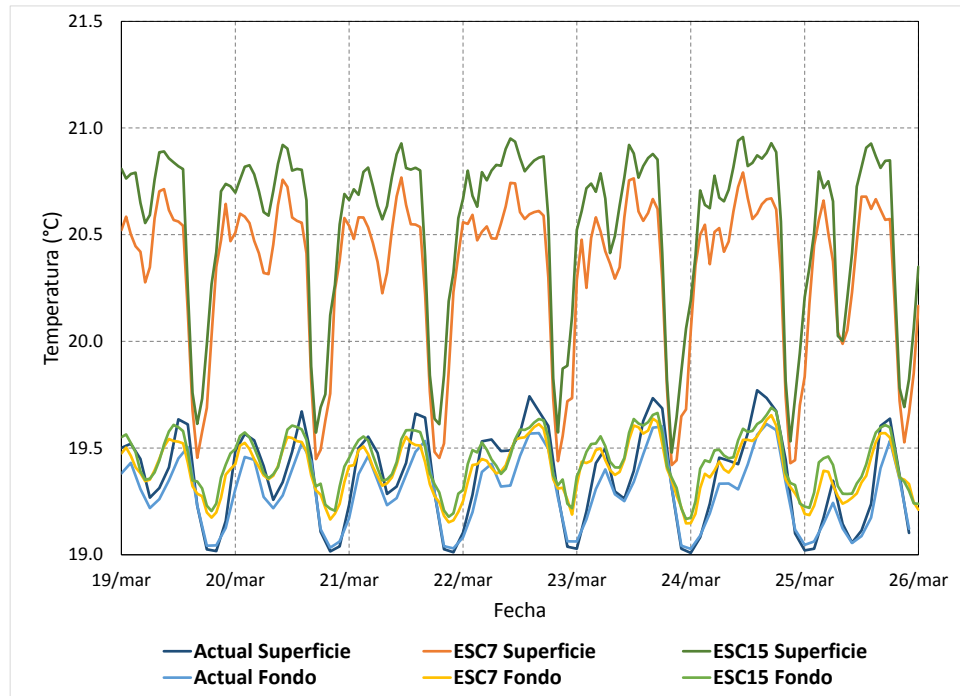
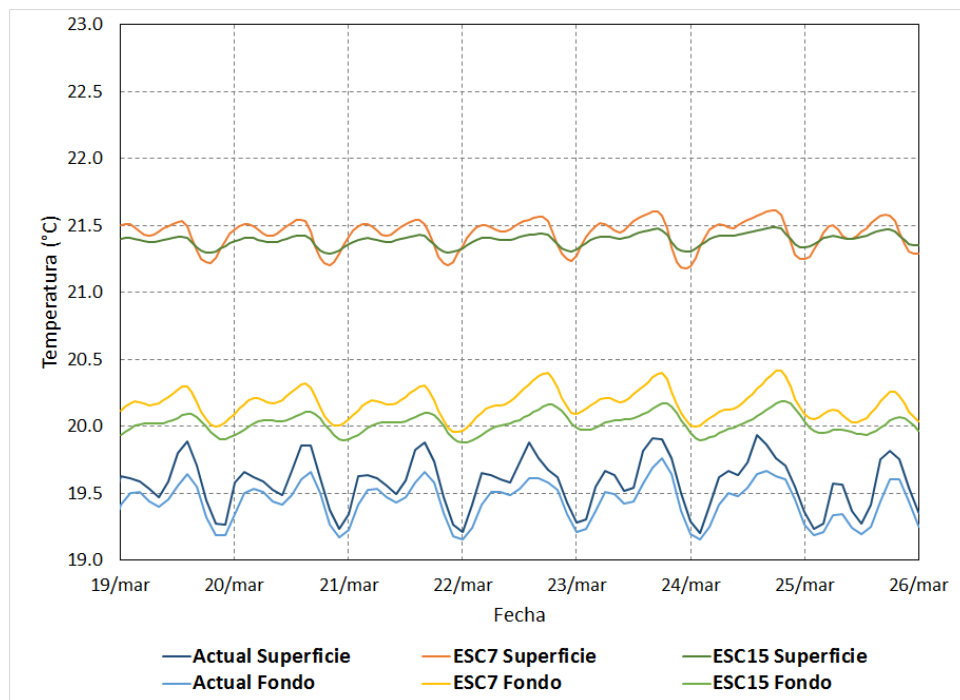


Figura 5.7. Perfil vertical de temperatura

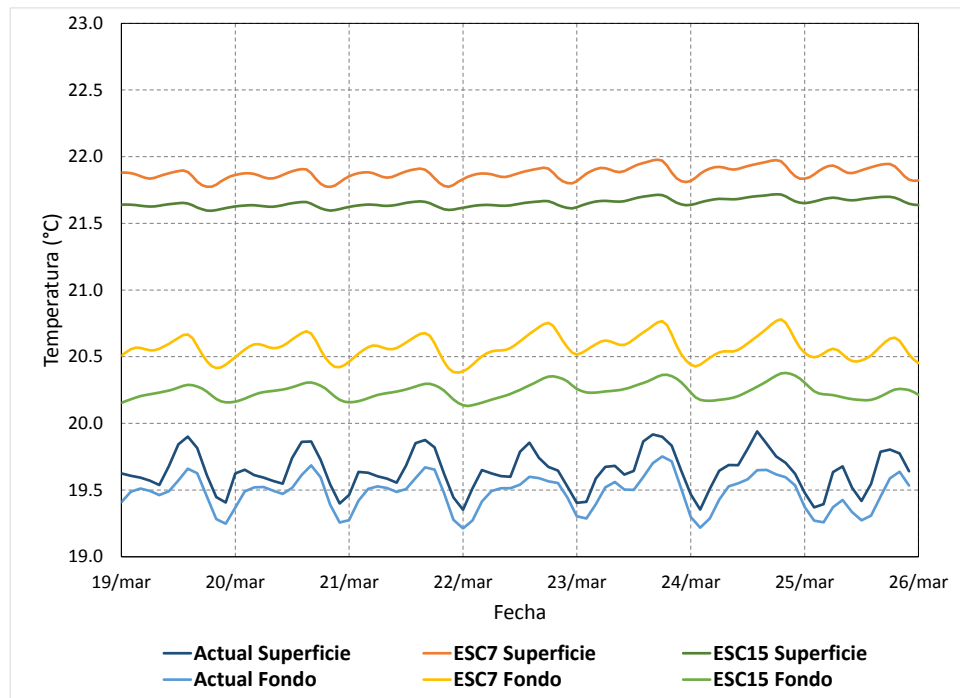
Con el fin de evaluar la variabilidad temporal de la temperatura, en la Figura 5.8 se presentan las series temporales de temperatura para la capa superior y de fondo en distintos puntos del recinto portuario, asociadas a los tres escenarios de análisis. Se observa que la variabilidad es relativamente moderada. La máxima variabilidad se da en el Canal de Acceso para los escenarios futuros, con amplitudes de variación mayores a 1°C . Para el resto nunca supera los $0,5^{\circ}\text{C}$. La amplitud de variación disminuye en dirección a la dársena E, donde no supera los $0,2^{\circ}\text{C}$.



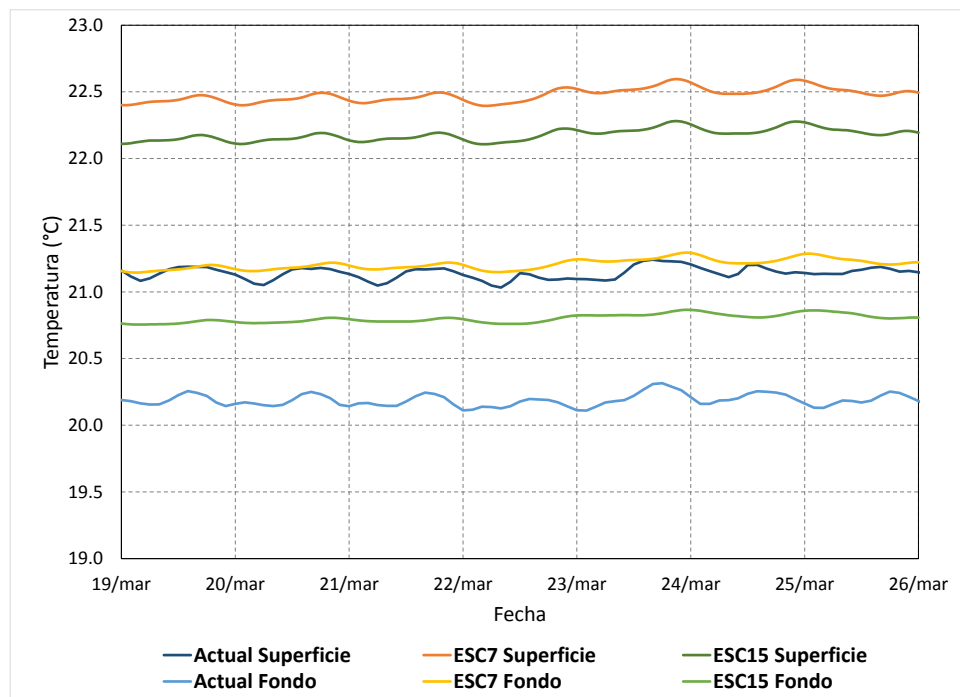
a. Canal de Acceso



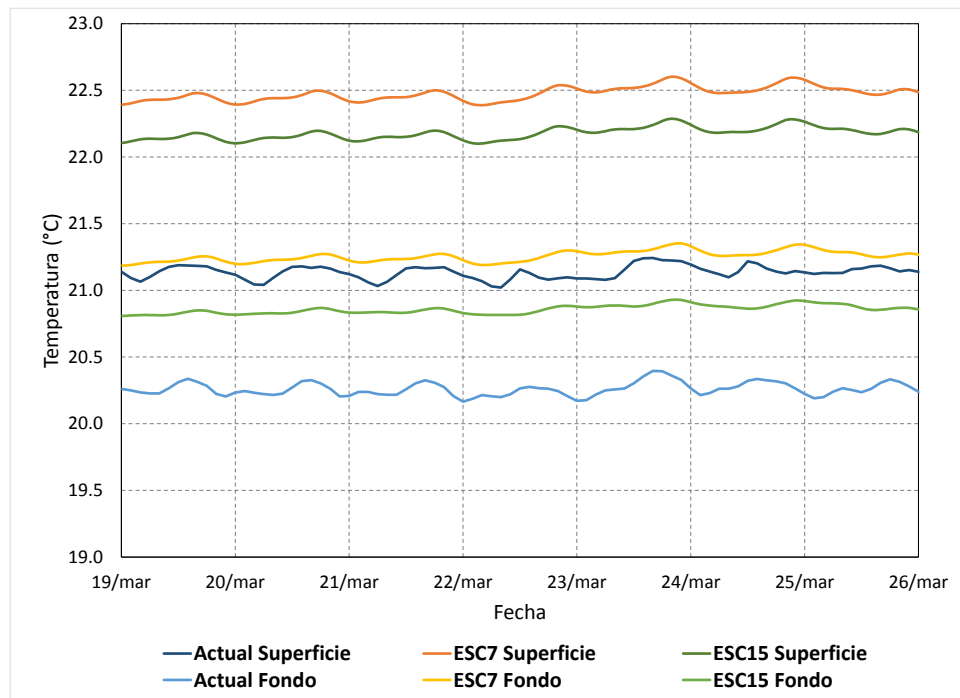
b. Dársena A



c. Dársena B



d. Dársena E



e. Terminal 6

Figura 5.8. Series temporales de temperatura

5.5 Análisis

La descarga de agua sobrecalentada genera dos efectos cuya intensidad es posible analizar a partir de los resultados obtenidos con el modelo:

- Cambio en las condiciones ambientales, con el consiguiente impacto sobre la biota.
- Incremento de la temperatura del agua en la zona de las tomas, con la consiguiente pérdida de eficiencia del sistema de refrigeración, pudiendo llegar al cortocircuito térmico.
- Estratificación térmica, con el potencial impacto sobre la calidad del agua de la capa inferior.

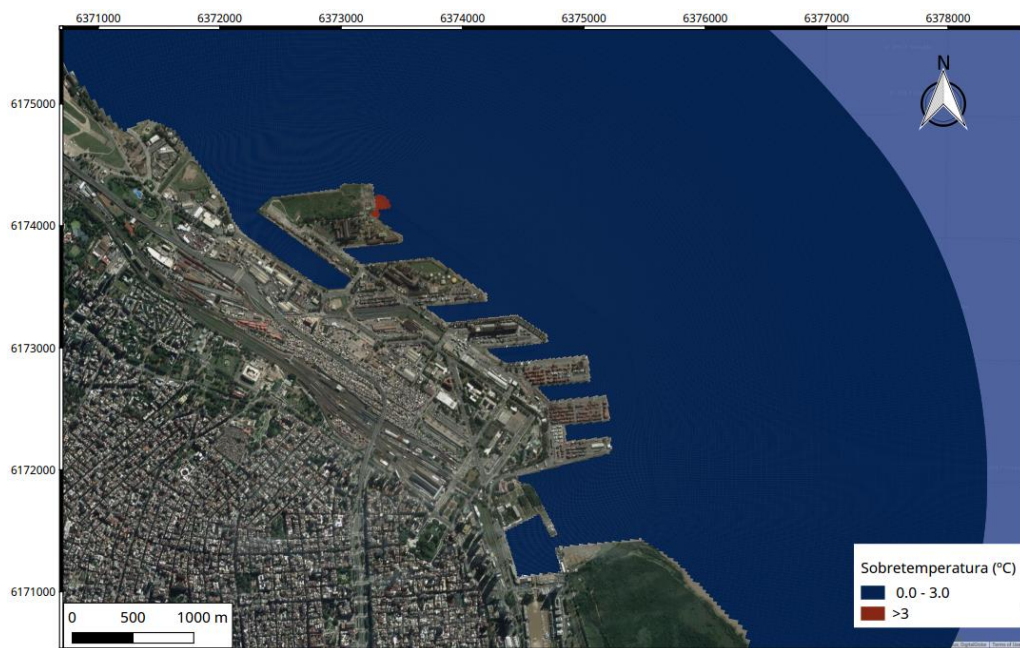
5.5.1 Cambio en condiciones ambientales

Según las recomendaciones internacionales relacionadas a descargas térmicas, se recomienda que la sobretemperatura máxima no supere los 3°C. Este umbral se establece para proteger las especies biológicas más sensibles (contemplando peces, plancton, organismos benthicos, etc)⁵.

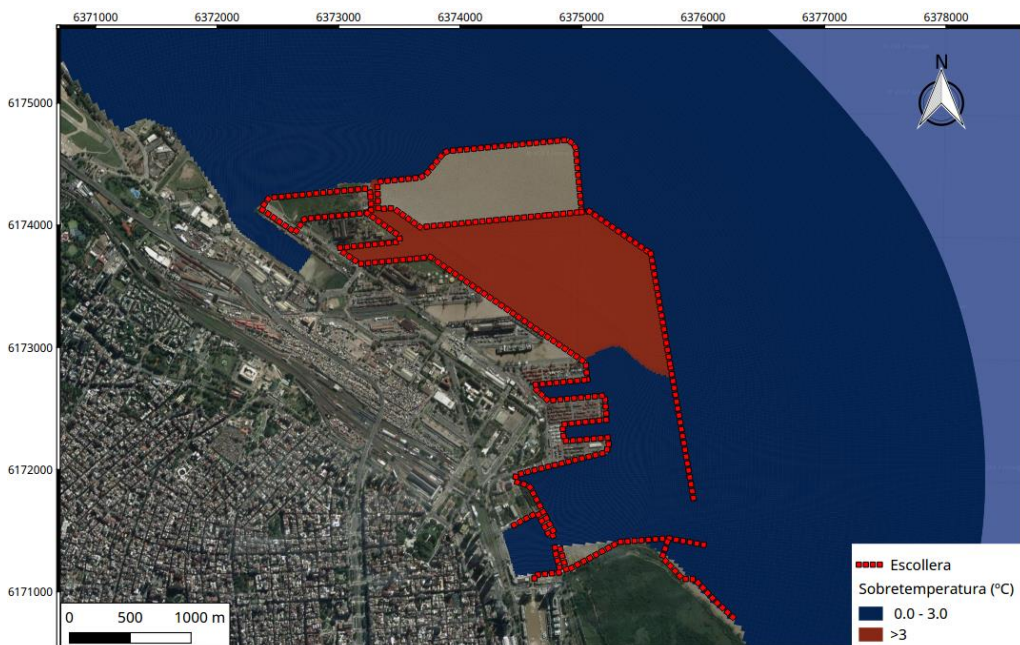
⁵ Thermal standards for cooling water from new build nuclear power stations. British Energy Estuarine & Marine Studies. Scientific Advisory Report Series 2011 no. 008

Para el presente problema se analiza la verificación de este criterio en relación a la descarga hacia el exterior proveniente de la CNP, ya que las condiciones en el interior portuario pueden generalmente ser más comprometidas en términos ambientales.

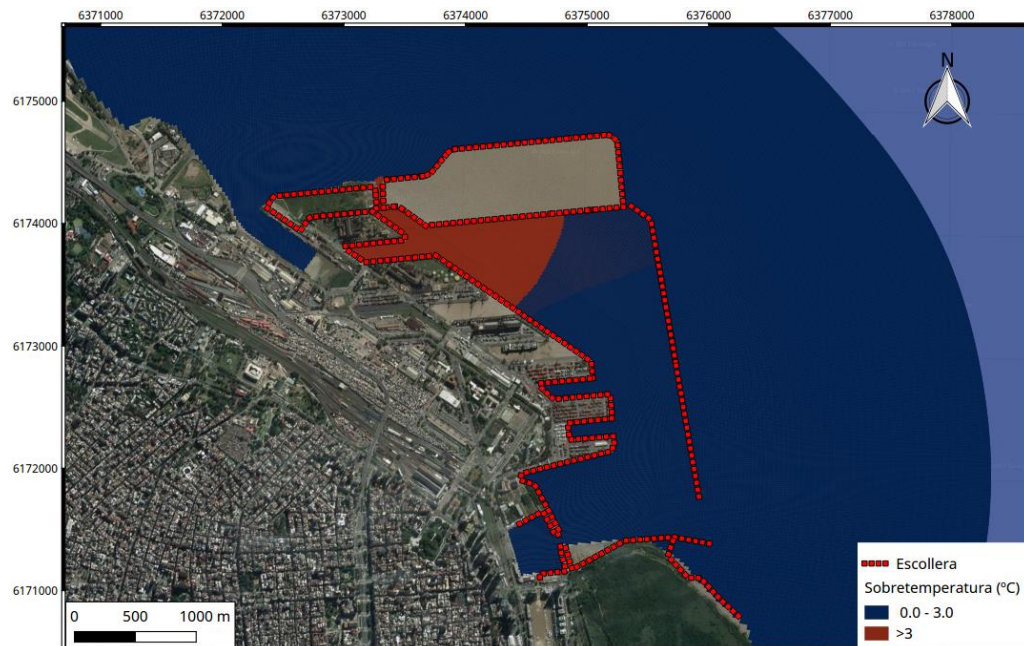
Se verificó que, para los tres escenarios analizados, el valor umbral de 3°C sólo se ve superado en una relativamente pequeña zona (Figura 5.9), donde el máximo valor alcanza apenas 3,5°C. La única diferencia significativa entre los escenarios futuros y el actual es que en los primeros esta zona queda confinada a lo que será el canal de descarga, pero prácticamente no lo supera en extensión, siendo esta del orden de los 200 m.



a. Configuración actual



b. Escenario 7



c. Escenario 15

Figura 5.9. Zona de sobretemperatura mayor a 3°C en la capa superior.

5.5.2 Incremento de temperatura en zona de tomas

De los resultados del modelo (Figura 5.7) surgen las siguiente sobretemperaturas en la zona de las tomas de agua:

- 1.5°C para las condiciones actuales.
- 2.5°C para los escenarios 7 y 15.

Esto significa que para el puerto futuro la sobretemperatura en la zona de las tomas de agua se incrementará en aproximadamente 1°C.

5.5.3 Estratificación

La presencia de una estratificación térmica permanente, incluyendo una relativamente brusca termoclina, es indicativo de una muy débil transferencia de masa y energía entre las capas superficial y de fondo. Esto puede conducir a condiciones de calidad de agua insatisfactorias en la capa inferior, en la medida en que tienda agotarse el oxígeno disuelto.

La zona estratificada crecerá sensiblemente para el puerto futuro en relación al actual. De hecho, la mayor parte del puerto permanecerá estratificado (Figura 5.5). De todos modos, las implicancias ambientales de esta limitación es relativa en el interior portuario, ya sujeto a múltiples solicitaciones que comprometen la calidad del agua.

6 PLUMA DE TURBIDEZ

6.1 Planteo del problema

La construcción de la obra de relleno implicará la movilización de suelos, parte de los cuales pueden eventualmente alcanzar las aguas del Río de la Plata, a pesar de las medidas de contención que se tomen para evitarlo, y entonces desarrollar una pluma de turbidez bajo la acción de las corrientes de agua. Dado que los vertidos de material para relleno serán intermitentes, podrían producirse entonces cortos pulsos de aporte de material al río, los cuales generarán plumas de turbidez temporarias, que irán desapareciendo por dilución.

La zona de impacto crítico a evaluar es la toma de agua de AySA para la planta de potabilización General San Martín (Toma Palermo), indicada en la Figura 6.1, de modo que el principal objetivo del presente análisis es cuantificar ese impacto.



Figura 6.1. Ubicación de tomas de agua de AySA.

6.2 Estrategia de simulación de plumas de turbidez

La pluma de turbidez está compuesta por el material de granulometría fina, ya que los suelos de mayor tamaño y los escombros se depositarán rápidamente al pie de la obra, y tendrán una capacidad limitada de transporte.

La simulación de la advección y difusión/dispersión de un pulso de material fino se llevó a cabo considerando una descarga instantánea sobre el Río de la Plata, y aplicando el Módulo Lagrangiano del Sistema MOHID, sobre el dominio del modelo utilizado para estudiar el impacto hidráulico de la obra, ya presentado en el Primer Informe de Avance. Las partículas representativas de los sedimentos que componen la pluma de turbidez son transportadas en el cuerpo de agua mediante la combinación de la corriente media y las fluctuaciones turbulentas. El Módulo Hidrodinámico provee las velocidades de corriente medias, mientras que el movimiento debido a las fluctuaciones turbulentas se parametriza en función de variables hidrodinámicas mediante la formulación de Sullivan-Allen⁶. Con esta metodología, las trayectorias de las partículas debidas a los procesos de difusión-dispersión se representan a través de caminos aleatorios (*random walk*). Para los parámetros asociados a esta formulación se adoptaron los valores del trabajo de García et al.⁷.

La descarga instantánea, que representa la operación más crítica de vertido para construir el terraplén de avance de la obra, se esquematiza mediante el lanzamiento de un pulso instantáneo de partículas desde un subdominio del modelo denominado caja (*box*). Una caja se define como un área o volumen del cuerpo de agua desde donde se puede realizar un seguimiento detallado de las variables asociadas al transporte de las partículas.

Se definieron dos cajas: una emisora para la zona de descarga a estudiar, y otra receptora en el entorno de la toma de agua Palermo. La caja emisora se materializó con 1 celda (de 40 m de lado), mientras que la receptora con 9 celdas, representando así a la toma y al entorno de modo de efectuar un análisis conservador.

Desde la caja de descarga se lanzan instantáneamente alrededor de 1.300 partículas. El objetivo de la simulación es detectar el porcentaje de partículas que arriban a la caja receptora desde la caja emisora, sin considerar un decaimiento (criterio conservador). A posteriori se evalúa qué podría representar ese porcentaje en términos de concentración de material suspendido.

6.3 Estadística de amplitud de marea

Dado que el régimen hidrodinámico del Río de la Plata está dominado por la marea, con una leve componente de deriva neta hacia el Océano, la amplitud de marea es determinante de las velocidades de corriente, y en consecuencia de la probabilidad de que la pluma de turbidez alcance la toma de agua y, entonces, de la magnitud de ese impacto.

⁶ Allen, C.M., 1982. Numerical simulation of contaminant dispersion in estuary flows. Proc. R. Soc. London, A381, pp. 179-194.

⁷ García, P.E., Menéndez, A.N., Badano, N.D., Ezcurra, H., 2012. Metodología para la determinación de coeficientes de difusión en cauces fluviales. XXV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, San José, Costa Rica, Septiembre, 2012.

Se efectuó una estadística de amplitudes de marea en base a las mediciones horarias de niveles de agua en Buenos Aires para todo el año 2016 (Figura 6.2). Se calculó la amplitud de cada onda desde bajamar hasta pleamar (marea creciente), con el objetivo de caracterizar estadísticamente las situaciones de reflujo, que son las que podrían generar plumas de turbidez que alcancen la toma de agua.

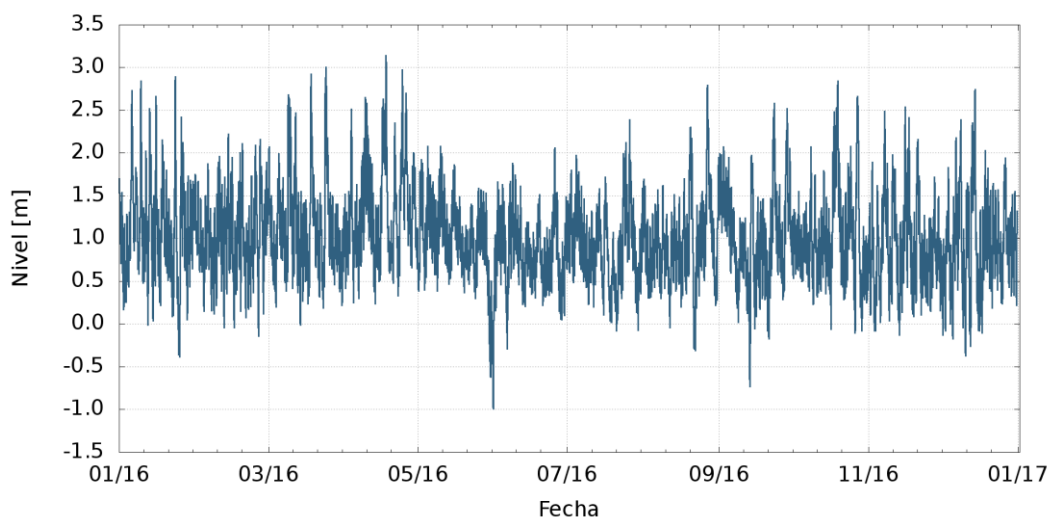


Figura 6.2. Niveles en el Río de la Plata en Buenos Aires.

En la Figura 6.3 se muestra la frecuencia de ocurrencia de amplitudes de marea en creciente. Se observa que el rango de mayor frecuencia de ocurrencia es 0.5 – 0.6 m. La Tabla 6.1 y la Tabla 6.2 presentan los valores de los parámetros estadísticos.

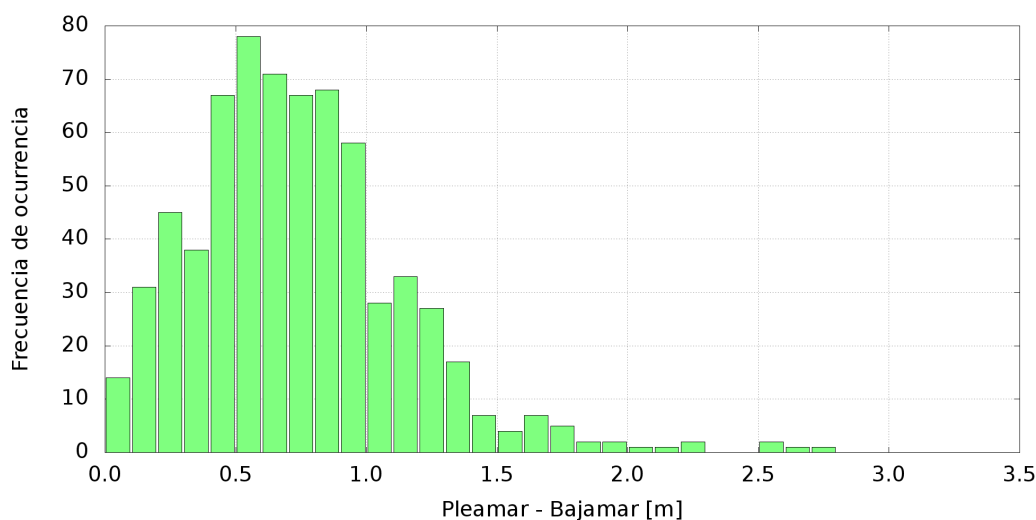


Figura 6.3. Frecuencia de ocurrencia de amplitudes de marea creciente.

Tabla 6.1. Estadísticos básicos de amplitudes de marea en creciente.

Estadístico	Valor [m]
Máxima	2.80
Mínima	0.02
Media	0.74
Desviación estandar	0.41

Tabla 6.2. Percentiles de amplitudes de marea en creciente.

Percentil	Valor [m]	Percentil	Valor [m]
p99	2.11	p25	0.47
p95	1.41	p10	0.25
p90	1.24	p05	0.16
p75	0.94	p01	0.06
p50	0.70		

6.4 Escenarios de simulación

Las condiciones hidrodinámicas sobre las que se montó el modelo de transporte de la pluma de turbidez son las descritas en el Informe 2 (Capítulo 3, Impacto hidráulico, Ítem 3.2). Se trata de condiciones normales ocurridas comenzando el 19 de mayo de 2000. En la Figura 6.4 se representan los niveles de marea y las velocidades de corriente asociadas.

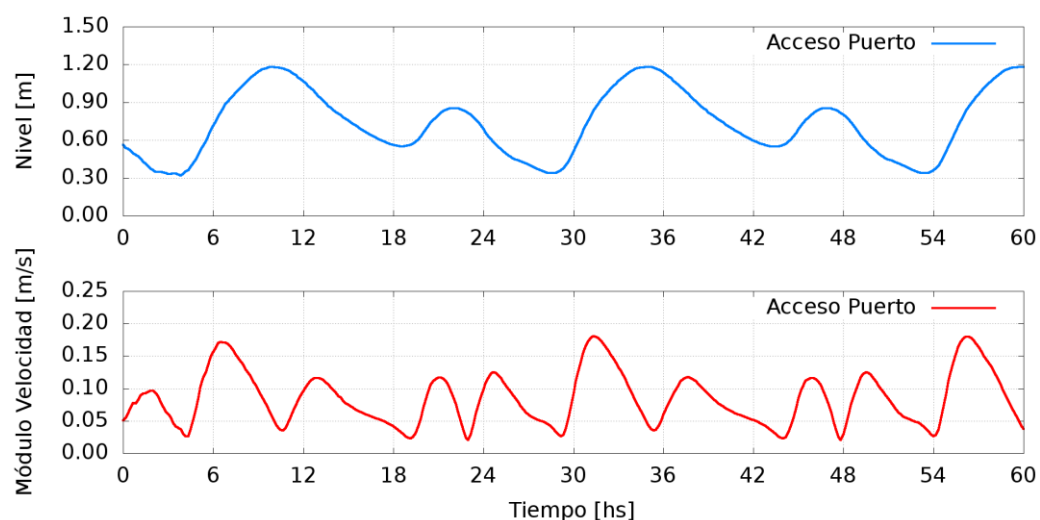


Figura 6.4. Condiciones hidrodinámicas para el escenario de simulación.

Se establecieron dos instantes de descargas instantáneas (Figura 6.5): una en el entorno de una pleamar (D1) y la otra en el entorno de una bajamar (D2). Esta última es la condición más exigente respecto del impacto sobre la obra de toma, siendo la amplitud de marea creciente de aproximadamente 90 cm. De acuerdo a lo presentado en la sección 6.3, se trata de una amplitud relativamente alta, superada sólo el 30% del tiempo.

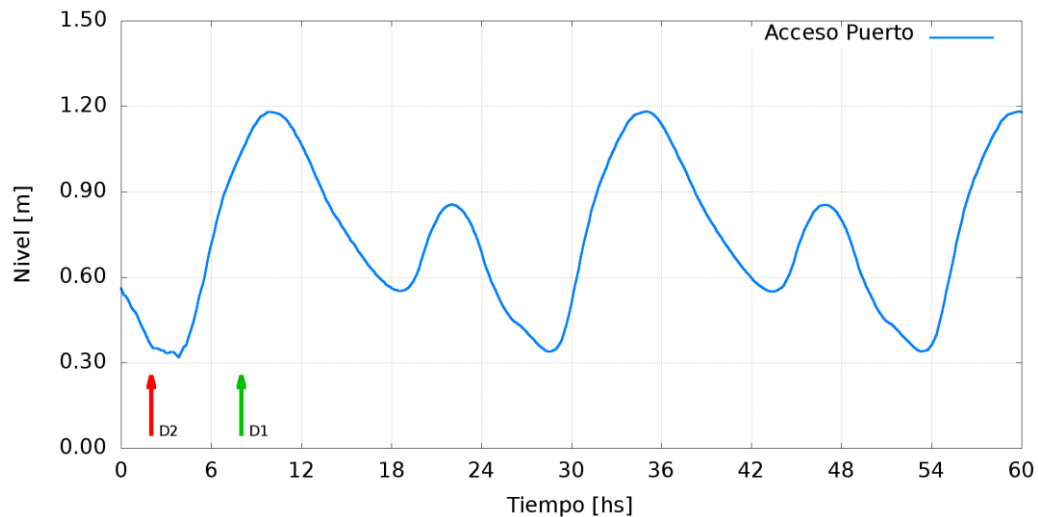
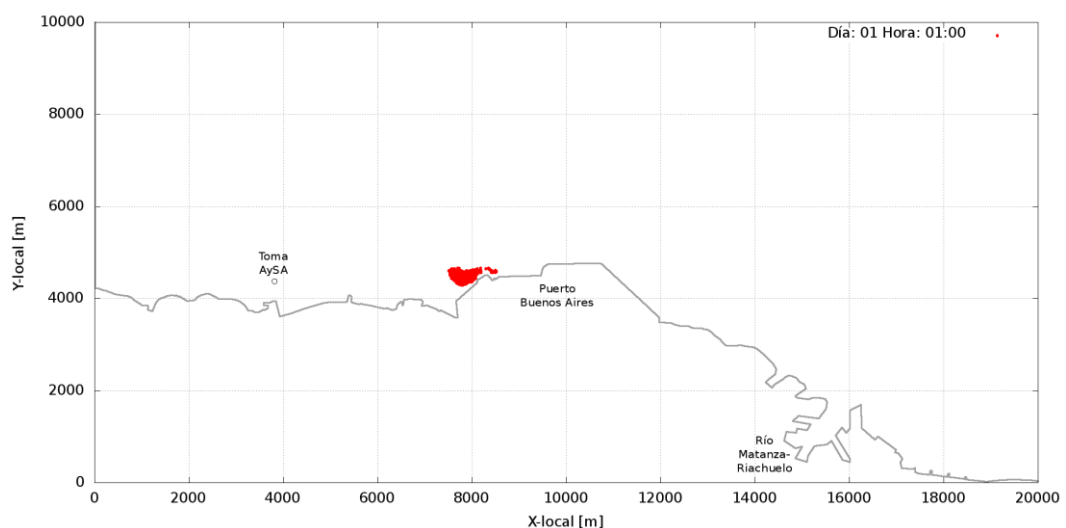


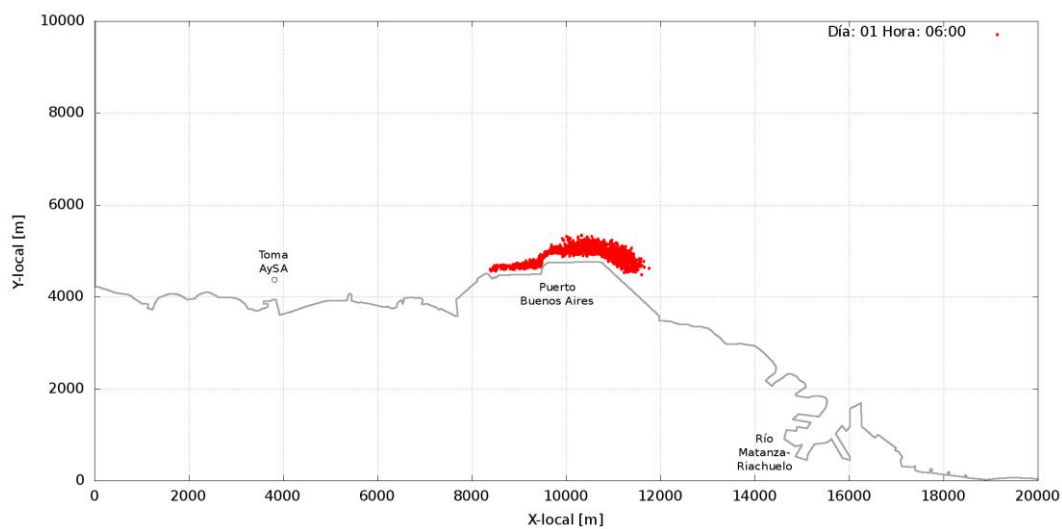
Figura 6.5. Instantes de descargas instantáneas.

6.5 Resultados

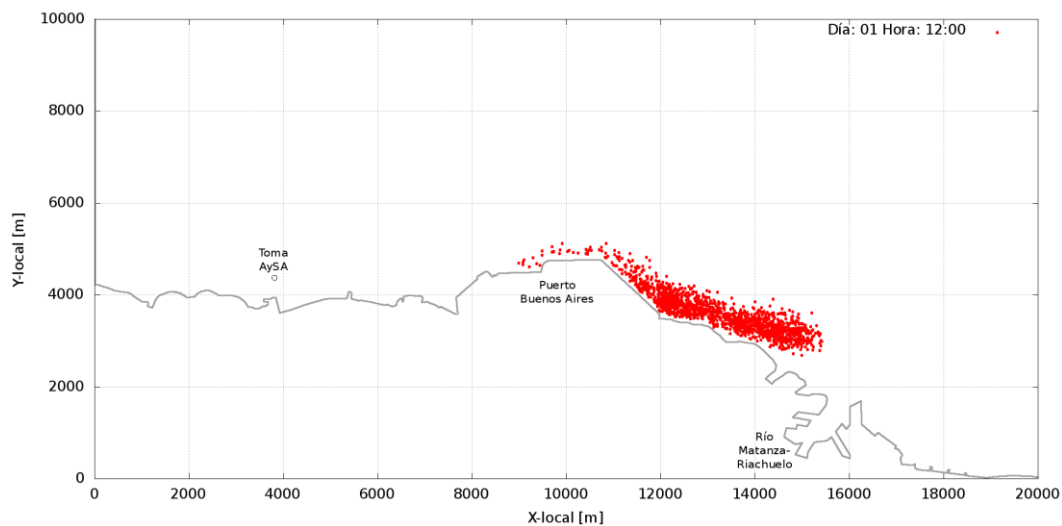
En la Figura 6.6 muestra la evolución de la pluma para la descarga D1. Como era de esperarse, esta tiende a desarrollarse hacia el Océano, de modo que no constituye una amenaza para la toma de agua. La situación más crítica se da a la hora 03:00 del segundo día, pero la partícula más cercana se encuentra a alrededor de 2000 m.



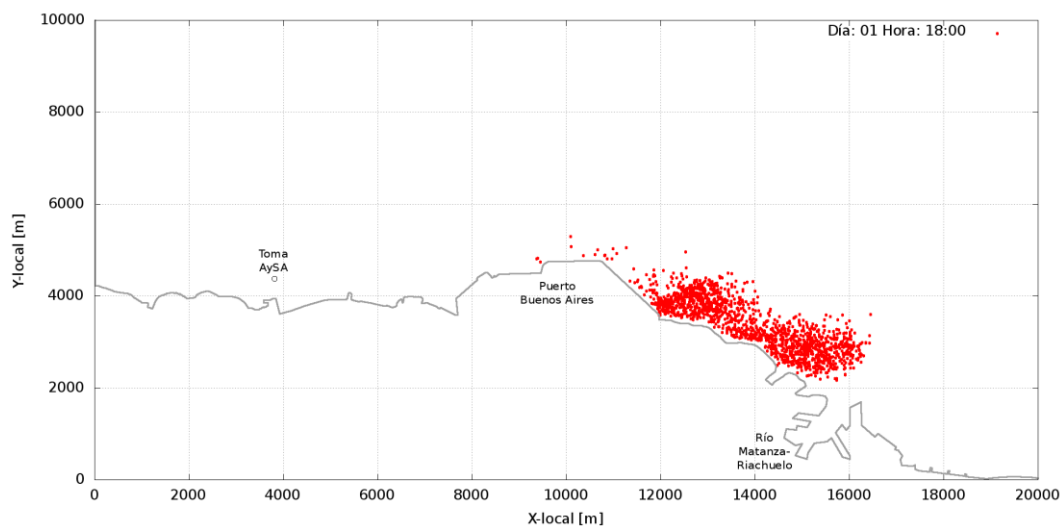
a. Día 1 Hora 01:00



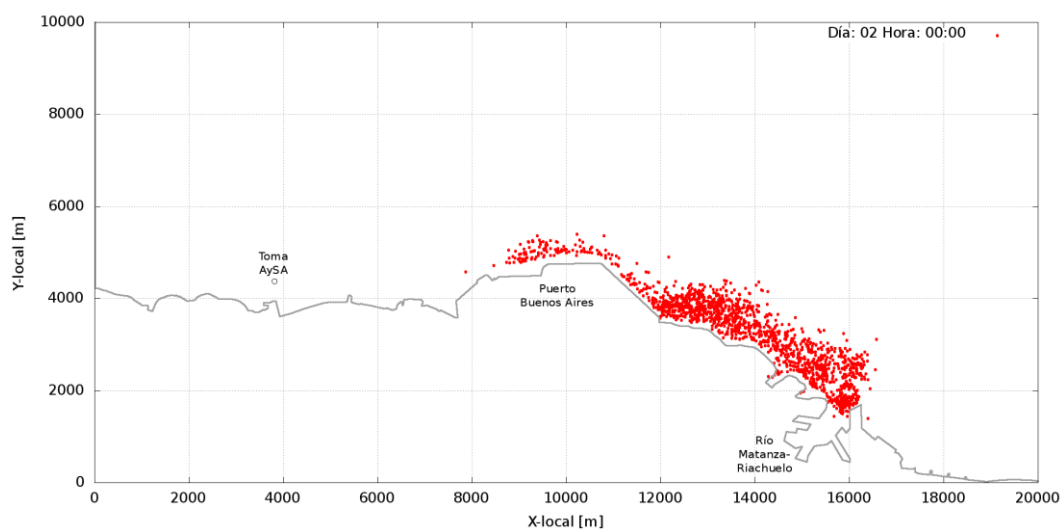
b. Día 1 Hora 06:00



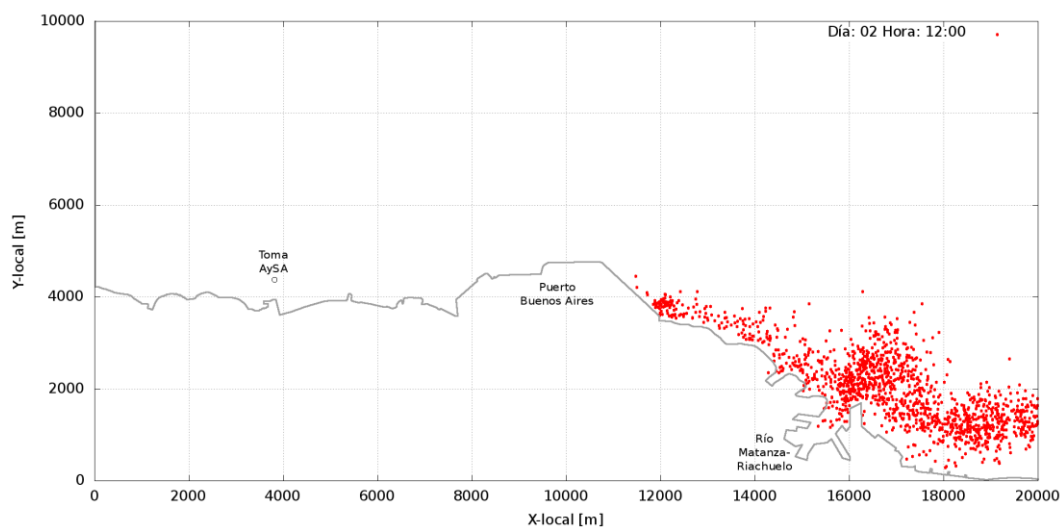
c. Día 1 Hora 12:00



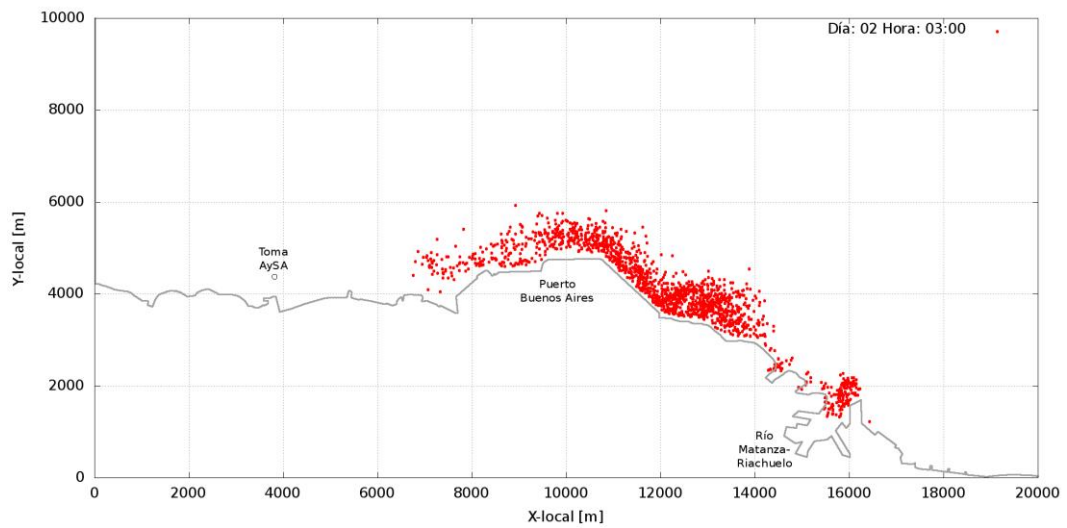
d. Día 1 Hora 18:00



e. Día 2 Hora 00:00



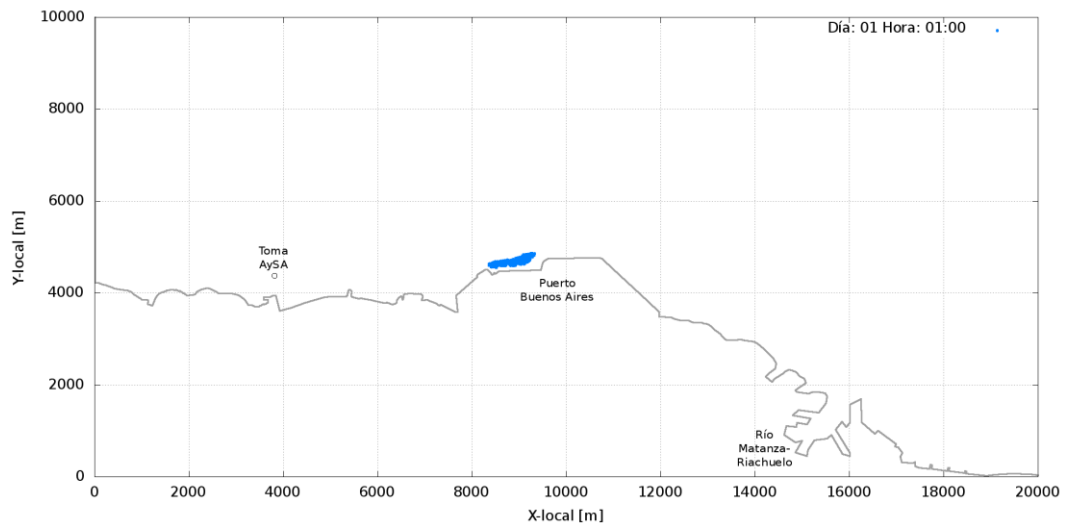
f. Día 2 Hora 00:00



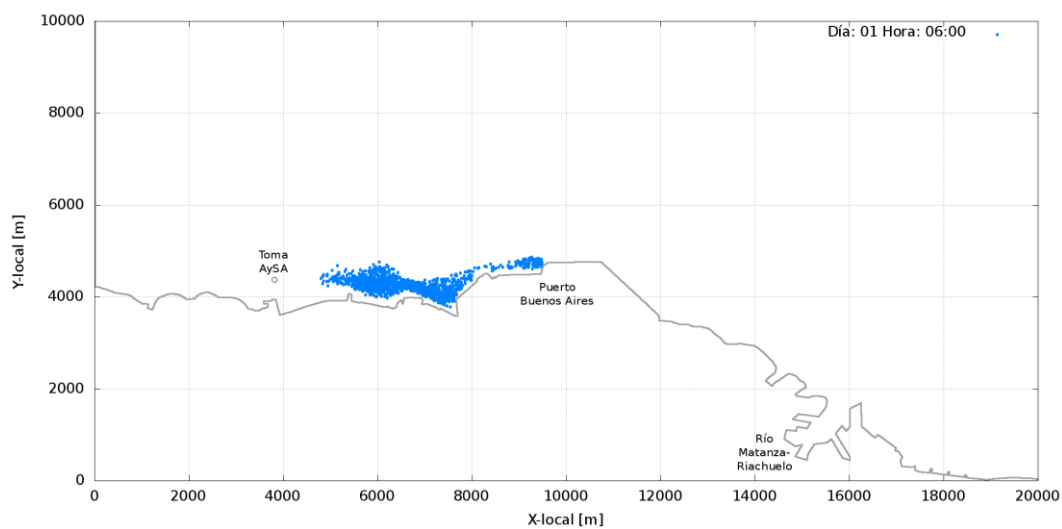
g. Día 2 Hora 03:00

Figura 6.6. Evolución de la pluma de turbidez para la descarga instantánea D1.

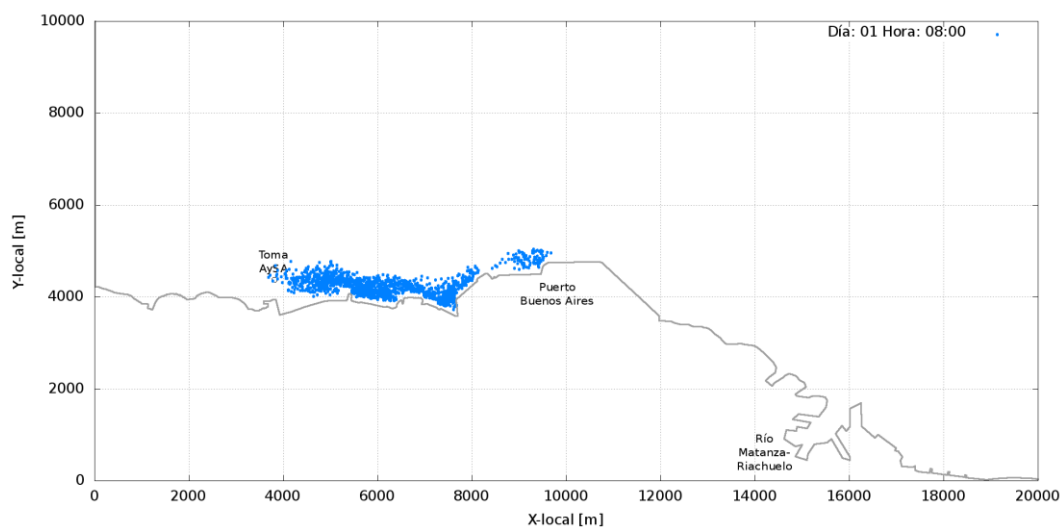
La Figura 6.7 presenta la evolución de la pluma para la descarga D2. Se observa que la pluma de turbidez alcanza la toma en dos ocasiones durante las 48 horas de simulación, siendo las situaciones más críticas a las 08:00 horas de primer día, y las 07:30 horas del segundo día.



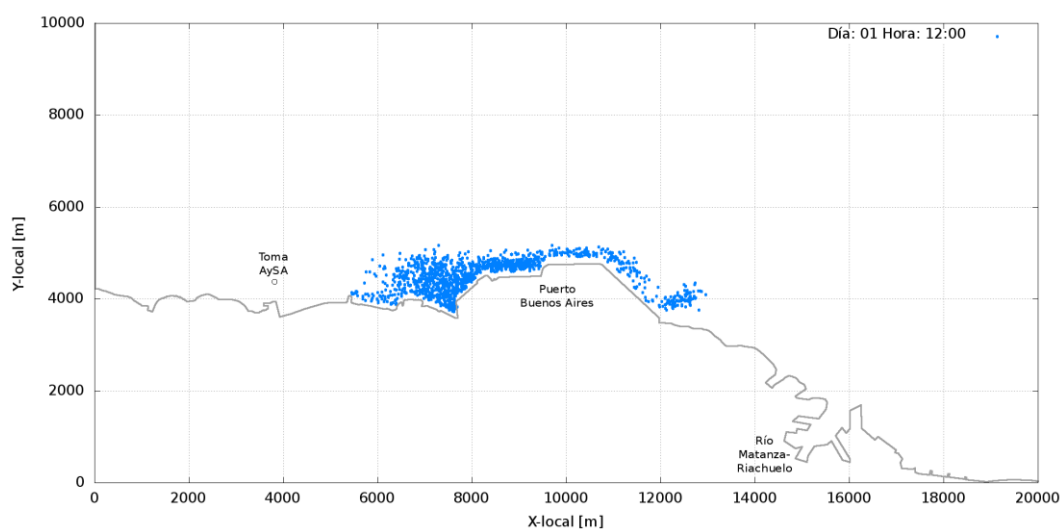
a. Día 1 Hora 01:00



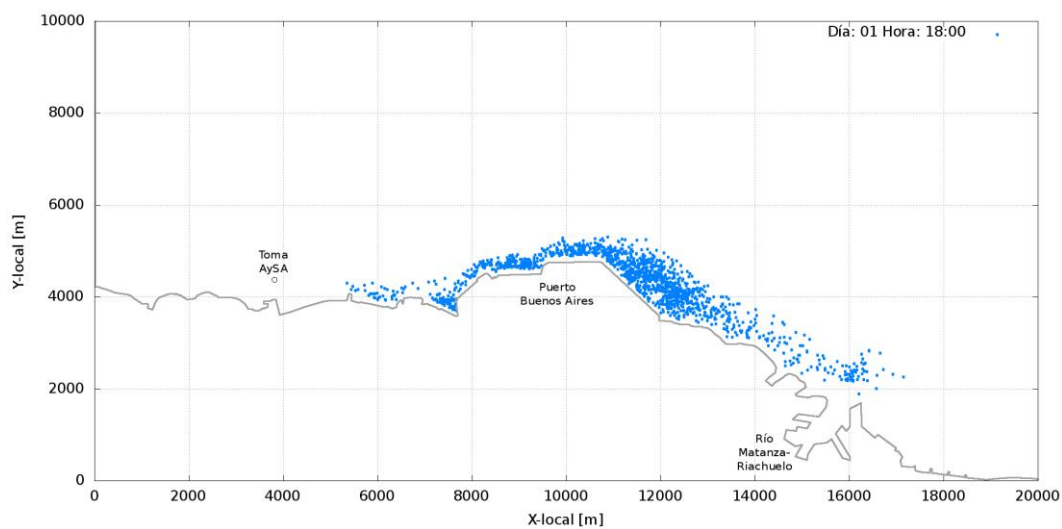
b. Día 1 Hora 06:00



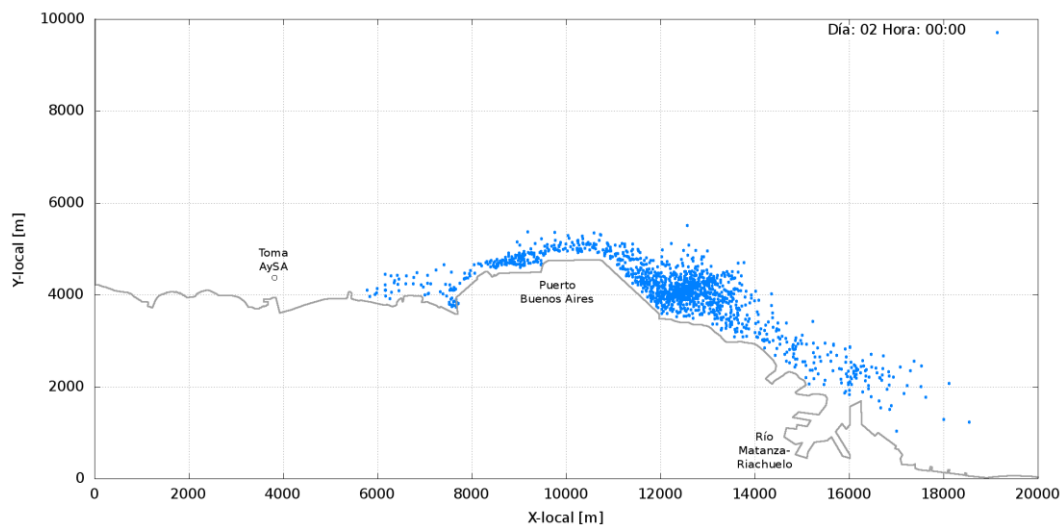
c. Día 1 Hora 08:00



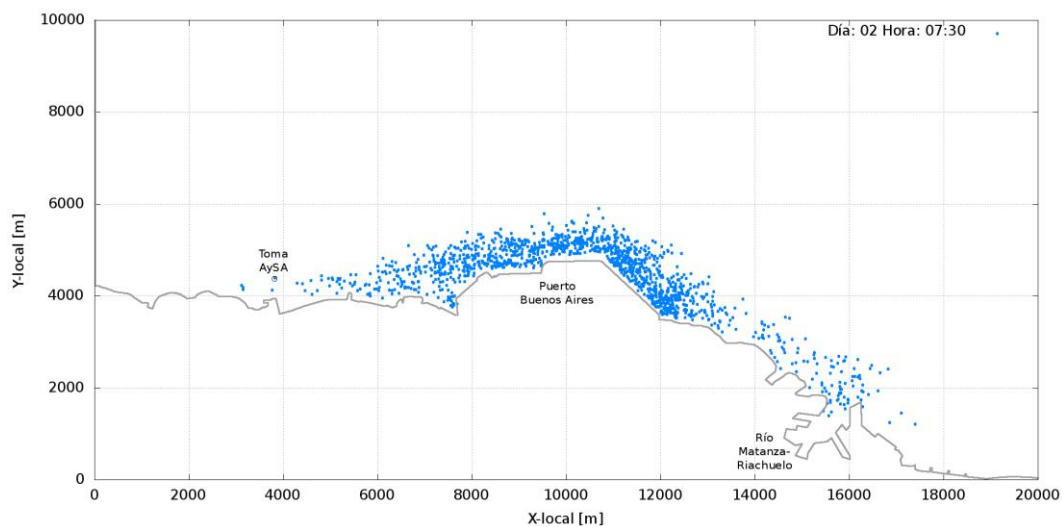
d. Día 1 Hora 12:00



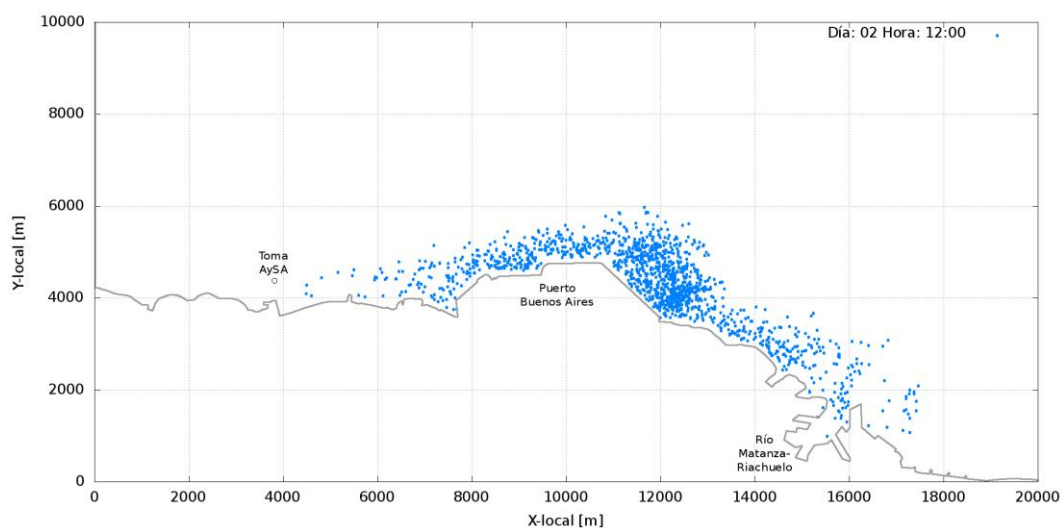
e. Día 1 Hora 18:00



f. Día 2 Hora 00:00



g. Día 2 Hora 07:30



h. Día 2 Hora 12:00

Figura 6.7. Evolución de la pluma de turbidez para la descarga instantánea D2.

En la Figura 6.8 se muestra la fracción de masa recibida en la zona de análisis en torno a la toma de agua. Se observa que el valor pico no llega a alcanzar el 0.4% para la situación más comprometida, el primer día. Además, la duración del impacto es de menos de 2 horas.



Figura 6.8. Fracción de masa recibida en la zona de la toma de agua.

Para convertir esta fracción en masa de material se efectuó el siguiente cálculo estimativo:

- Se consideró la descarga de un camión típico, transportando un volumen de 30 m^3 .
- Se supuso conservadoramente que el 20% es material fino (para un terraplén de avance se utiliza mayormente material de grueso a muy grueso), es decir 6 m^3 .
- Se estimó una densidad seca de 1040 kg/m^3 , resultando un material de finos de 6240 kg.
- La fracción máxima de arribo a la zona de toma es 0,04, lo cual significa una masa de 250 kg.
- El área de análisis es de 14.400 m^2 (caja receptora) y la profundidad media del orden de 4 m, con lo que el volumen de análisis resulta de 57.600 m^3 .
- De la relación entre masa de finos arribada y volumen de análisis surge una concentración de 4 mg/l.

La sobreconcentración de 4 mg/l resulta en la práctica despreciable frente a la concentración de base, del orden de los 100 mg/l, y queda subsumida dentro de la propia variabilidad de esa concentración de base (condicionada por los aportes de finos desde el río Paraná de las Palmas). Y esta situación además constituye un evento de menos de 2 horas de duración.

Se concluye entonces que las plumas de turbidez no pueden generar impactos significativos sobre la toma de agua de AySA para la Planta General San Martín.

7 CONCLUSIONES

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

- En términos generales, no se esperaran grandes incrementos sobre los valores promedios de altura significativa de olas en los distintos sectores de interés para la operación del puerto respecto de las condiciones actuales.
- En ninguno de los escenarios analizados se observaron valores de agitación promedio para el sector de Antepuerto que pudieran superar las condiciones más desfavorables que las esperadas con la configuración actual. Del mismo modo, tampoco se esperan condiciones de agitación por encima de esos niveles en la zona de Maniobras proyectada para la configuración futura.
- En los sectores de dársenas no se observaron incrementos significativos de agitación que pudieran afectar las condiciones de operación en las mismas. Los casos más sensibles corresponden a las dársenas E y F, las cuales podrían estar influenciadas por la cercanía de una eventual una boca falsa si esta tuviera una apertura superior a los 50 m.
- La agitación sobre los muelles nuevos MN1 y MN2 también se encuentra sensiblemente influenciada por la presencia de la boca falsa. Un cambio en la extensión de la misma, pasando de 50 m a 100 m, produciría un incremento considerable en los valores promedio de altura significativa de ola para ambos sectores.
- En las dársenas y en la zona de maniobras se observan las menores tasas de sedimentación y volúmenes sedimentados para las configuraciones que no poseen boca falsa.
- En el Antepuerto las menores tasas de sedimentación se presentan con el esquema sin boca falsa y con la escollera modificada. Sin embargo, el volumen sedimentado es mayor que para el caso sin boca falsa y escollera sin modificar, al presentar aquel escenario mayor superficie en dicha zona.
- Si se analizan en conjunto la zona de maniobras y del antepuerto, que son las que explican el mayor porcentaje de volumen sedimentado, se observa que la configuración óptima, en cuanto a menores volúmenes, es la que tiene la escollera modificada y no presenta boca falsa.
- Para el Canal de Acceso las menores tasas y volúmenes sedimentados se presentan sin la extensión de la obra de abrigo Sur.
- La configuración óptima del puerto, en cuanto a menores volúmenes sedimentados, es la que no tiene boca falsa, y tiene la escollera modificada y la obra de abrigo sur sin extender.

- La pequeña zona que se desarrolla alrededor de la descarga de agua sobrecalentada de la CNP, donde la sobretemperaturas son mayores a 3°C (umbral que indica una restricción ambiental) sufrirá un angostamiento por el efecto de confinado que producirá el relleno, y una consiguiente extensión, aunque permanecerá confinado dentro de ese canal de descarga, de aproximadamente 200 m de largo. Allí el máximo valor de sobretemperatura alcanza apenas 3,5°C.
- Para el puerto futuro la sobretemperatura en la zona de las tomas de agua se incrementará en aproximadamente 1°C respecto de la actual.
- La zona estratificada crecerá sensiblemente para el puerto futuro en relación al actual. De hecho, la mayor parte del puerto permanecerá estratificado. De todos modos, las implicancias ambientales de esta limitación es relativa en el interior portuario, ya sujeto a múltiples solicitaciones que comprometen la calidad del agua.
- Las plumas de turbidez que se desarrollen por aportes accidentales al Río de la Plata de material de relleno, no pueden generar impactos significativos sobre la toma de agua de AySA para la Planta General San Martín.