



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

Informe Final



**Proyecto LHA366
Informe LHA 05-366-18
Ezeiza, Mayo de 2018**

Laboratorio de Hidráulica

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE

Ing. Pablo SPALLETTI

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

Informe Final

RESUMEN

Se describen los estudios sobre el plan antecedente de ampliación del puerto de Buenos Aires. Para las alternativas de proyecto planteadas por AGP, se desarrollan estudios de agitación por oleaje, de impacto hidráulico de la ampliación sobre el entorno del puerto, de la variación en la hidrodinámica del interior portuario, de la sedimentación en el puerto, de la estratificación térmica por la descarga de las centrales termoeléctricas, de impacto de las potenciales plumas de turbidez generadas durante la construcción, y de los tiempos de residencia del puerto.

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	6
2	ANTECEDENTES	8
2.1	Alcance del estudio de 1997	8
2.2	Efectos del proyecto	9
2.3	Alternativa	11
3	ESCENARIOS DE PROYECTO	13
3.1	Descripción general	13
3.2	Variantes de la Terminal Exterior	13
3.3	Secuencia constructiva	24
4	AGITACIÓN DENTRO DE RECINTO PORTUARIO	25
4.1	Consideraciones generales	25
4.2	Modelación de la generación y propagación del oleaje	25
4.2.1	Características de la modelación	25
4.2.2	Validación del modelo	27
4.3	Oleaje en la zona de acceso al puerto	29
4.3.1	Datos de viento utilizados	29
4.3.2	Puntos de control	29
4.3.3	Resultados	30
4.4	Agitación dentro del recinto portuario	34
4.4.1	Planteo	34

4.4.2	Secciones y puntos de control	35
4.4.3	Resultados	35
4.4.4	Impacto del corrimiento de la Escollera	38
4.4.5	Impacto de la extensión de la obra de abrigo Sur	39
4.4.6	Impacto de la extensión del relleno	41
4.4.7	Impacto de la incorporación de una boca falsa	42
4.4.8	Variación de la agitación en sectores de interés	43
4.4.9	Síntesis	46
4.5	Agitación durante eventos extremos	46
4.5.1	Planteo	46
4.5.2	Secciones y puntos de control	46
4.5.3	Escenarios hidrodinámicos para el análisis	47
4.5.4	Resultados	48
4.5.5	Evaluación de la extensión del Malecón Sur	51
5	IMPACTO HIDRÁULICO	52
5.1	Consideraciones generales	52
5.2	Implementación del modelo	52
5.2.1	Sistema de Modelación MOHID	52
5.2.2	Dominios de cálculo	52
5.2.3	Batimetría	54
5.2.4	Forzantes	56
5.3	Validación del modelo	57
5.3.1	Condiciones normales	57
5.3.2	Condiciones extremas	59
5.4	Aplicación del modelo	61
5.4.1	Escenarios	61
5.4.2	Indicadores de impacto hidráulico	61

5.5	Condiciones normales	62
5.6	Condiciones de Sudestada	65
5.7	Condiciones de bajante extraordinaria	68
5.8	Comparación de resultados	72
5.9	Discusión	73
6	HIDRODINÁMICA DEL PUERTO	75
6.1	Consideraciones generales	75
6.2	Metodología de modelación hidrodinámica local	75
6.3	Dominio de modelación	76
6.4	Condiciones de borde	76
6.5	Escenario Actual	77
6.6	Configuración futura	81
6.7	Estadística de corrientes	82
7	SEDIMENTACIÓN	88
7.1	Consideraciones generales	88
7.2	Datos de base	88
7.3	Análisis de relevamientos batimétricos	92
7.4	Tasas de sedimentación	93
7.5	Metodología de modelación	98
7.6	Calibración del modelo	98
7.7	Escenarios Futuros	101
7.7.1	Volúmenes anuales sedimentados	101

7.7.2	Análisis	109
8	DESCARGAS TÉRMICAS	113
8.1	Consideraciones generales	113
8.2	Calibración del modelo	114
8.3	Distribución de sobretemperatura	118
8.4	Estratificación térmica	123
8.5	Tomas de agua	125
8.6	Cambio en las condiciones ambientales	127
8.6.1	Sobrettemperatura	127
8.6.2	Estratificación	129
9	PLUMA DE TURBIDEZ	131
9.1	Planteo del problema	131
9.2	Estrategia de simulación de plumas de turbidez	132
9.3	Estadística de amplitud de marea	132
9.4	Escenarios de simulación	134
9.5	Resultados	135
10	TIEMPO DE RESIDENCIA	142
10.1	Planteo del problema	142
10.2	Situación actual	142
10.3	Escenarios Futuros	143
11	CONCLUSIONES	146

1 INTRODUCCIÓN

La Administración General de Puertos (AGP) desarrolló un proyecto de nueva configuración para el Puerto de Buenos Aires, y encargó 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, producido en agosto de 2017, 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 el Tercer Informe de Avance, producido en enero de 2018, se presentaron análisis de comportamiento para distintos escenarios de configuración portuaria, incluyendo la agitación en el interior del recinto, la sedimentación en las distintas zonas del puerto, y la dinámica provocada por la descarga de agua sobrecalentada de las centrales termoeléctricas. Además, se analizó el potencial impacto de vertidos de suelo durante la construcción y la consiguiente formación de plumas de turbidez.

En el Cuarto Informe de Avance, producido en mayo de 2018, se completaron los estudios, describiéndose la agitación frente a eventos extremos, presentándose los resultados finales de tasas y volúmenes de sedimentación proyectados, mostrándose los resultados finales de impacto de las descargas térmicas de las centrales termoeléctricas, y presentándose un análisis sobre tiempos de residencia.

En este Informe Final se compila la totalidad de los estudios, con sus resultados definitivos. La organización del Informe es como sigue:

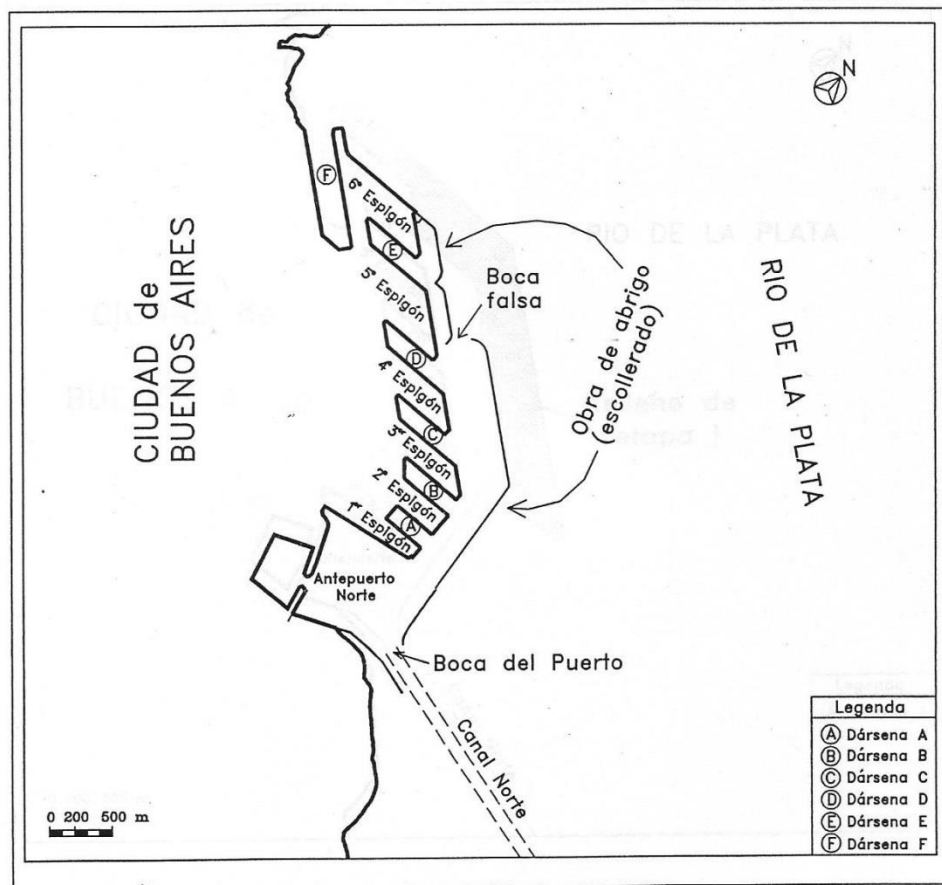
- En el capítulo 2 se describen los estudios sobre el plan antecedente de ampliación del puerto de Buenos Aires.
- En el capítulo 3 se describen los escenarios de proyecto planteados por la AGP.
- En el capítulo 4 se desarrolla el estudio de agitación por oleaje.
- En el capítulo 5 se desarrolla el estudio del impacto hidráulico de la ampliación sobre el entorno del puerto.
- En el capítulo 6 se desarrolla el estudio de la variación en la hidrodinámica del interior portuario.
- En capítulo 7 se desarrolla el estudio de la sedimentación en el puerto.

- En el capítulo 8 se desarrolla el estudio de la estratificación térmica por la descarga de las centrales termoeléctricas.
- En el capítulo 9 se desarrolla el estudio del impacto de las potenciales plumas de turbidez generadas durante la construcción.
- En el capítulo 10 se desarrolla el estudio de los tiempos de residencia del puerto, como indicador de la calidad de las aguas.
- En el capítulo 11 se presentan las conclusiones del estudio.

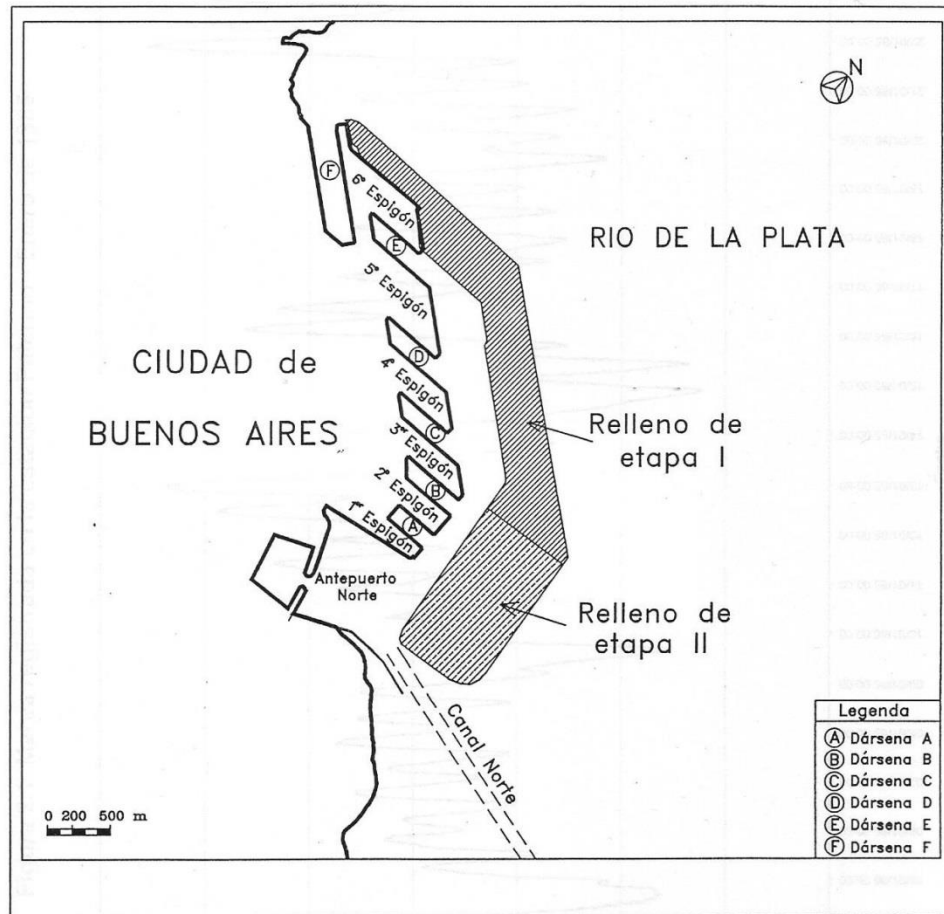
2 ANTECEDENTES

2.1 Alcance del estudio de 1997

En el año 1997 el INA desarrolló para la AGP el “Estudio de la afectación del régimen de sedimentación y del transporte de contaminantes y temperatura en el proyecto de profundización del Puerto del Buenos Aires”. El proyecto consistía en la profundización del puerto, acompañada de obras de relleno (con el material refulado), de acuerdo a lo mostrado en la Figura 2.1.



a) Actual



b) Proyecto de 1997

Figura 2.1. Configuración del Puerto de Buenos Aires.

El estudio determinó, en base a la modelación matemática, las variaciones que la nueva configuración del puerto generaría sobre las condiciones en su interior, en lo que hace a la hidrodinámica, la sedimentación, la calidad del agua la estratificación térmica debido a la descarga de la Central Puerto Nuevo.

2.2 Efectos del proyecto

Una de las principales conclusiones del estudio fue que, al eliminarse la actual boca falsa, el puerto proyectado generaría la desaparición de un mecanismo de circulación hidrodinámica en el corredor que se desarrolla entre ambas bocas del puerto, mecanismo que al mismo tiempo es un artefacto de dilución térmica de las aguas sobrecalentadas descargadas por la Central Puerto Nuevo. Entonces, se producirían consecuencias significativas en el transporte de calor, de sedimentos y de contaminantes.

Más específicamente, los principales efectos serían los siguientes:

- ❖ Sobre el régimen hidrodinámico:
 - La intensidad de las corrientes disminuirá significativamente en el canal de pasaje respecto de las condiciones actuales. El indicador del grado de atenuación de la corriente en el interior del puerto (definido como la relación entre el caudal pico entrante a través de la boca principal del puerto proyectado y el caudal pico

correspondiente al puerto actual) vale 0,45, es decir, las corrientes se atenuarían en un 54%.

❖ Sobre el régimen hidrotérmico:

- La descarga de las aguas sobrecalentadas desde la Central Puerto Nuevo producirían una estratificación prácticamente total del puerto, con la sobretemperatura de la capa cálida sensiblemente uniforme a través de todo el puerto. Esto contrastaría con la situación actual, en la que la corriente generada en el corredor entre ambas bocas produce una rápida caída de la sobretemperatura de la capa cálida en el canal de pasaje a un 8% del valor que tiene en el puerto interior, y una desestratificación completa al llegar al Antepuerto.
- La sobretemperatura de las aguas tomadas por las dos centrales de Central Puerto crecería, para la situación de máxima operación, desde alrededor de 1,5°C en las condiciones actuales a 2,3°C en el puerto proyectado, es decir, se produciría un aumento de alrededor de 0,8°C (53%).

❖ Sobre la sedimentación:

- Las tasas de sedimentación en las dársenas y en el Antepuerto serían similares a las actuales, pero sufrirían variaciones relevantes (entre -15 y +70%) en el canal de pasaje, con un patrón de cambio relativamente complicado ya que se combinan los efectos contrapuestos de la disminución de la velocidad de la corriente (que tiende a aumentar la tasa) y la disminución de la concentración de sedimento en suspensión (que tiende a disminuir la tasa).
- El volumen anual sedimentado en todo el puerto aumentaría en un 13%. Este aumento, contenido básicamente en el canal de pasaje, es prácticamente proporcional al aumento de área del puerto, lo que muestra que existirá un balance efectivo entre los efectos contrapuestos de la disminución de corrientes y de concentración de sedimentos en el canal de pasaje.
- El volumen de mantenimiento de las dársenas y el canal de pasaje aumentaría en un 21%. Nuevamente, este aumento está contenido básicamente en el canal de pasaje y es proporcional al aumento de área.

❖ Sobre el transporte de contaminantes:

- La dilución física en el canal de pasaje, durante el tiempo de descarga de sustancias contaminantes, disminuiría significativamente respecto de la situación actual. El indicador de dilución relativa (definido como la relación entre las masas de contaminante que se encuentra comprendida dentro de un área establecida para el puerto proyectado y el puerto actual) variaría (media temporal) entre 1,7 a la altura de la dársena A a 2,7 a la altura de la dársena C. Es decir, habría en término medio una dilución 2,2 veces menor en el puerto proyectado respecto del actual debido a la disminución de las corrientes.
- El tiempo de dilución física a lo largo del canal de pasaje, al finalizar la descarga de sustancias contaminantes, disminuiría de 9 días en la situación actual a 1½ días para el puerto proyectado (disminución del 83%). Es decir, la homogeneización sería casi 6 veces más rápida dentro del puerto proyectado, debido a la acción de la difusión sobre una distribución inicial más aguda.
- El tiempo de renovación de las aguas del puerto pasaría de 3½ días en la situación actual a 16 días para el puerto proyectado. Es decir, aumentaría 4,5 veces debido a la disminución de las corrientes.
- No habría efecto mensurable sobre el tiempo de renovación de las aguas de las dársenas, que se mantendría en alrededor de 1 mes.

2.3 Alternativa

Las modificaciones significativas que introduce el puerto proyectado sobre la dinámica del flujo, asociadas principalmente a la desaparición de la actual boca falsa, provoca algunos impactos negativos, a saber:

- La estratificación térmica casi total del puerto deterioraría la performance de las centrales térmicas, además de generar otros posibles impactos ambientales.
- La significativa disminución de las corrientes en el interior del puerto produciría una disminución de la capacidad de dilución y un aumento del tiempo de renovación de las aguas, impactando sobre la calidad de las aguas.

Para disminuir esos impactos se planteó la alternativa de implementar una boca de refresco a la altura de donde hoy se ubica esa boca falsa, tal como se esquematiza en la Figura 2.2.

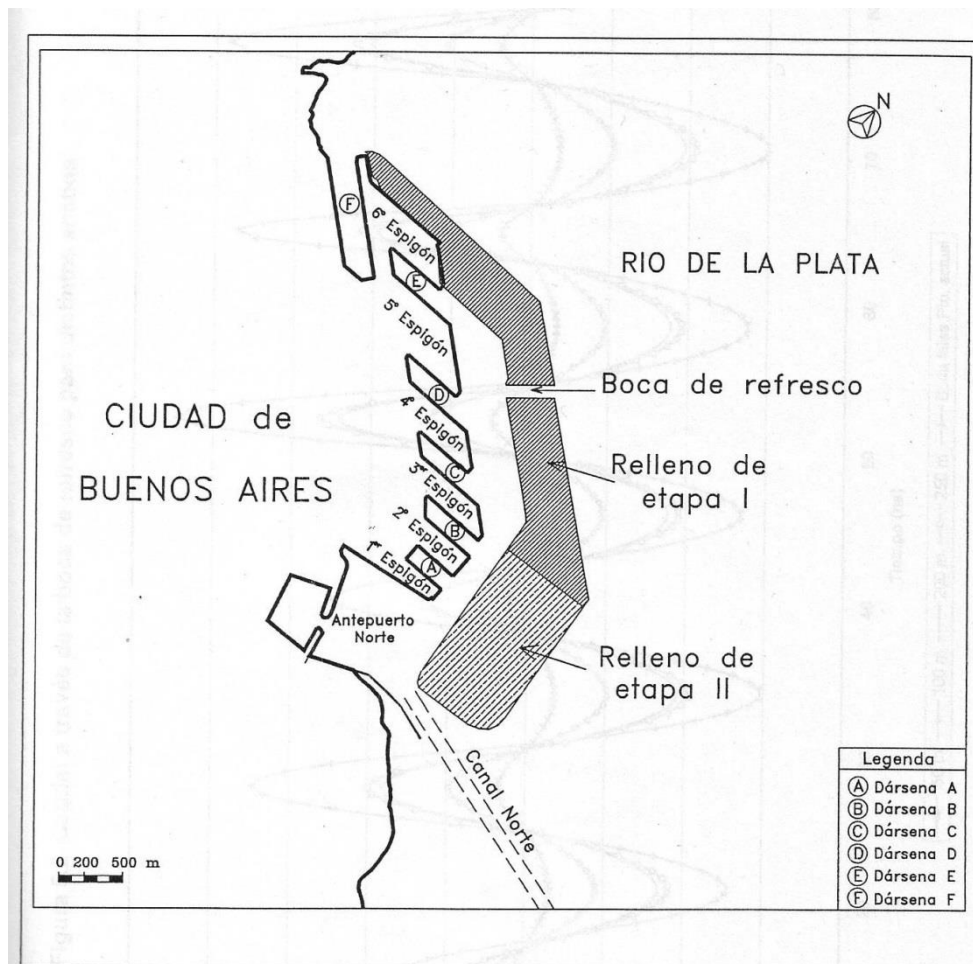


Figura 2.2. Proyecto alternativo.

Para este proyecto alternativo los principales efectos serían los siguientes:

- ❖ Sobre el régimen hidrodinámico:
 - La intensidad de las corrientes en el canal de pasaje sería intermedia entre las del puerto proyectado y el actual. El indicador del grado de atenuación de la corriente en el interior del puerto vale 0,51 para un ancho de la boca de refresco de 50 m (atenuación del 49%), 0,59 para 100 m (-41%) y 0,69 para 200 m (-31%).
- ❖ Sobre el régimen hidrotérmico:
 - La estratificación térmica del puerto principal, debida a la descarga de las aguas sobrecalentadas desde la Central Puerto Nuevo, se extendería hasta llegar al Antepuerto, donde la desestratificación sería total. La sobretemperatura de la capa cálida en el puerto principal caería a los siguientes porcentajes respecto de la del puerto interior: 39% para 50 m, 20% para 100 m y 12% para 200 m, alejándose de las condiciones para el puerto proyectado (100%) y acercándose a la situación actual (8%).
 - El aumento de la sobretemperatura de las aguas tomadas por las dos centrales de Central Puerto, respecto de la situación actual, sería de 17% para 50 m, 5,3% para 100 m y sólo 0,6% para 200 m, en comparación con el 55% para el puerto proyectado.
- ❖ Sobre la sedimentación:
 - El volumen anual sedimentado en todo el puerto aumentaría a medida que crece el ancho de la boca de refresco: 15% respecto del puerto actual (1,8% respecto del proyectado) para 50 m; 17% respecto del actual (3,3% respecto del proyectado) para 100 m; y 18,5% respecto del actual (4,7% respecto del proyectado) para 200 m.
 - El volumen de mantenimiento de las dársenas y el canal de pasaje aumentaría el 24% respecto del puerto actual (2,7% respecto del proyectado) para 50 m; 27% respecto del actual (5,0% respecto del proyectado) para 100 m; y 30% respecto del actual (7,2% respecto del proyectado) para 200 m.
- ❖ Sobre el transporte de contaminantes:
 - La dilución física en el canal de pasaje, durante el tiempo de descarga de sustancias contaminantes, sería similar a la del puerto proyectado, es decir, el indicador de dilución relativa será (media temporal y espacial) de alrededor de 2,2.
 - El tiempo de dilución física a lo largo del canal de pasaje, al finalizar la descarga de sustancias contaminantes, sería de 2 días para 50 m, 3 días para 100 m y 6½ días para 200 m, es decir, la homogeneización sería 4,6, 3,2 y 1,4 veces más rápida que en el puerto actual, respectivamente, para cada variante.
 - El tiempo de renovación de las aguas del puerto sería de 12½ días para 50 m (aumento de 3,6 veces respecto de la situación actual y disminución del 21% respecto del puerto proyectado), 9¼ días para 100 m (2,6 veces respecto de la situación actual y -42% respecto del puerto proyectado) y 7 días para 200 m (2 veces respecto de la situación actual y -57% respecto del puerto proyectado).
 - No habría cambios en el tiempo de renovación de las aguas de las dársenas, que se mantendría en alrededor de 1 mes.

3 ESCENARIOS DE PROYECTO

3.1 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.

3.2 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 3.1):

- 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

Escenario 2 (Figura 3.2):

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



Figura 3.1. Configuración de Escenario 1.



Figura 3.2. Configuración de Escenario 2.

Escenario 3 (Figura 3.3):

- 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 3.3. Configuración de Escenario 3.

Escenario 4 (Figura 3.4):

- 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 3.4. Configuración de Escenario 4.



Escenario 5 (Figura 3.5):

Figura 3.5

- 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 3.5. Configuración de Escenario 5.

Escenario 6 (Figura 3.6):

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

Escenario 7 (Figura 3.7):

- 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 3.6. Configuración de Escenario 6.



Figura 3.7. Configuración de Escenario 7.

Escenario 8 (Figura 3.8):

- 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 3.8. Configuración de Escenario 8.

Escenario 9 (Figura 3.9):

- 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 3.9. Configuración de Escenario 9.

Escenario 10 (Figura 3.10):

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



Figura 3.10. Configuración de Escenario 10.

Escenario 11 (Figura 3.11):

- 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

Escenario 12 (Figura 3.12):

- 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 3.11. Configuración de Escenario 11.



Figura 3.12. Configuración de Escenario 12.

Escenario 13 (Figura 3.13):

- 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 3.13. Configuración de Escenario 13.

Escenario 14 (Figura 3.14):

- 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 3.14. Configuración de Escenario 14.

Escenario 15 (Figura 3.15):

- 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 3.15. Configuración de Escenario 15.

Escenario 16 (Figura 3.16):

- 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 3.16. Configuración de Escenario 16.

3.3 Secuencia constructiva

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

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

4 AGITACIÓN DENTRO DE RECINTO PORTUARIO

4.1 Consideraciones generales

El estudio del oleaje comprende dos aspectos fundamentales de interés para el proyecto que requieren un abordaje particular en cada caso. El primer aspecto se refiere a la caracterización del clima de olas en el entorno del área portuaria, mientras que el segundo apunta a la evaluación de la agitación dentro del recinto para diferentes alternativas de configuración.

La caracterización del clima de olas tiene el propósito de determinar valores de alturas, períodos y direcciones de propagación de oleaje que pueden esperarse en la zona de acceso al puerto con relativa frecuencia, como así también el análisis de eventos extremos que resulta fundamental en la identificación condiciones de diseño para las obras de defensa. Este análisis demanda la necesidad de modelar una extensa región que abarca la totalidad del Río de La Plata y parte de la plataforma continental, posibilitando tanto el estudio de olas generadas por vientos locales, como el de las que puedan propagarse desde la zona exterior.

El estudio de la agitación portuaria consiste en una modelación de detalle que apunta a reproducir la interacción entre las olas que ingresan al puerto y las estructuras internas del mismo. El propósito principal de este análisis es la determinación de alturas de olas en diferentes zonas de operación portuaria, considerando distintas alternativas para la configuración del recinto, o bien evaluando modificaciones en las propiedades reflejantes de las estructuras.

4.2 Modelación de la generación y propagación del oleaje

4.2.1 Características de la modelación

Para representar la generación de olas dentro por acción del viento y la propagación desde la zona exterior del estuario se utilizó el modelo matemático SWAN (Simulating WAVes Nearshore) desarrollado en Delft University of Technology¹. SWAN es una herramienta utilizada ampliamente en el campo de la ingeniería de costas y cuenta con una numerosa lista de aplicaciones documentadas en la bibliografía internacional referidas a la modelación del oleaje en zonas de costa marítima, lagos y estuarios.

La implementación del modelo requirió esencialmente la confección de una malla de cálculo sobre la cual se representó en forma adecuada el mapa digital de profundidades del lecho

¹<http://www.swan.tudelft.nl>

marino para la totalidad del área de interés considerada en la modelación, El área de estudio abarca parte de la plataforma continental y la zona del Río de la Plata, como se muestra en la Figura 4.1. Para la esta tarea se utilizaron las siguientes cartas Náuticas publicadas por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN):

- Carta 50 Mar Argentino de Río de la Plata a Cabo de Hornos (1:3.000.000)
- Carta H-113 Río de la Plata Exterior (1:250.000).
- Carta H-116 Río de la Plata Medio y Superior (1:250.000).
- Carta H-118 : Río de la Plata Superior (1:100.000)

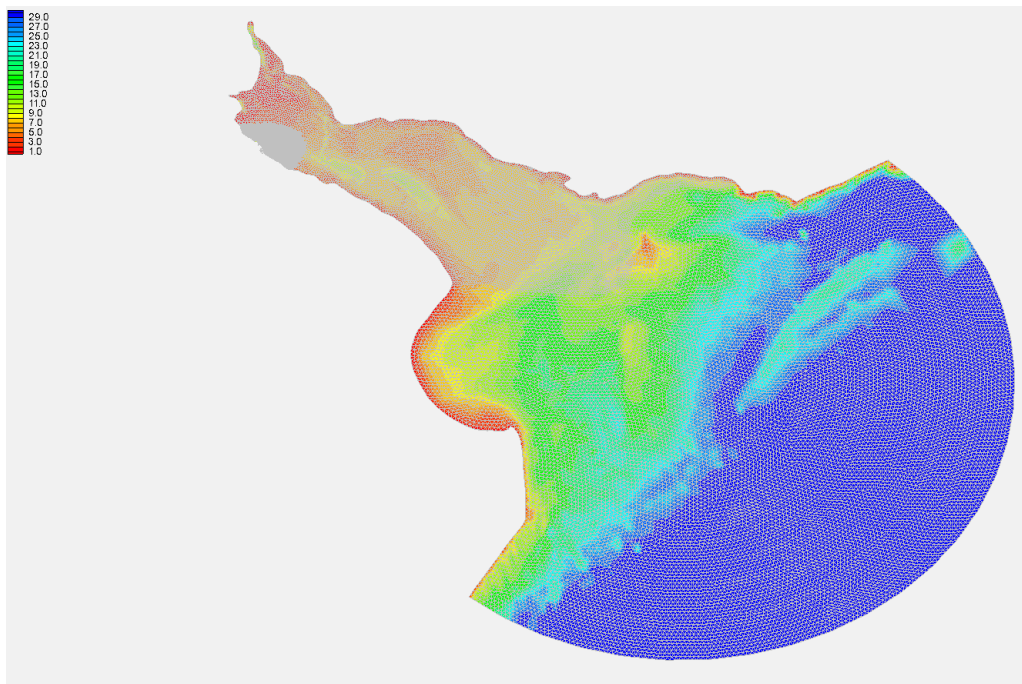


Figura 4.1. Dominio de cálculo para la aplicación de SWAN

Como información de base para trabajo se utilizaron series temporales de olas provenientes del proyecto IOWAGA (Integrated Ocean Waves for Geophysical and other Applications), desarrollado por el instituto de investigación IFREMER (Francia)².

Los datos provistos por el programa IOWAGA son de libre uso, y están disponibles a través de un servidor FTP en formato NetCDF. La información corresponde a resultados de la aplicación del modelo numérico global WAVE-WATCH III, calibrados mediante el uso de altímetros satelitales. Estos datos están organizados por mes y con un intervalo de tiempo de 3 horas. Dicha información está conformada por valores de altura significativa, período medio espectral, período pico espectral, y dirección del oleaje. Del mismo modo, el programa brinda información de vientos consistente en series de intensidad y dirección con el mismo intervalo de tiempo.

Las simulaciones de la propagación del oleaje fueron realizadas utilizando el modelo en modo

²<http://wwz.ifremer.fr/iowaga/Products>

no estacionario, representando de manera continua la serie cronológica de datos disponibles en el nodo de IFREMER para trasladar la información del oleaje hasta la zona de acceso al Puerto de Buenos Aires.

4.2.2 Validación del modelo

Las series de datos utilizadas para este estudio corresponden a un punto ubicado sobre la plataforma continental del Mar Argentino (coordenadas: Lat 36° 30' S, 54° W), en zona de aguas profundas (profundidad aproximada de 170 m), donde se cuenta una base de datos extensa que abarca en forma ininterrumpida el período de tiempo 1990-2013. A una distancia aproximada de 190 km del mismo, dentro de la zona modelada, se encuentra la ubicación de un olígrafo instalado por la empresa HIDROVIA S.A que registró datos del oleaje entre 1996 y 2010 (Figura 4.2).

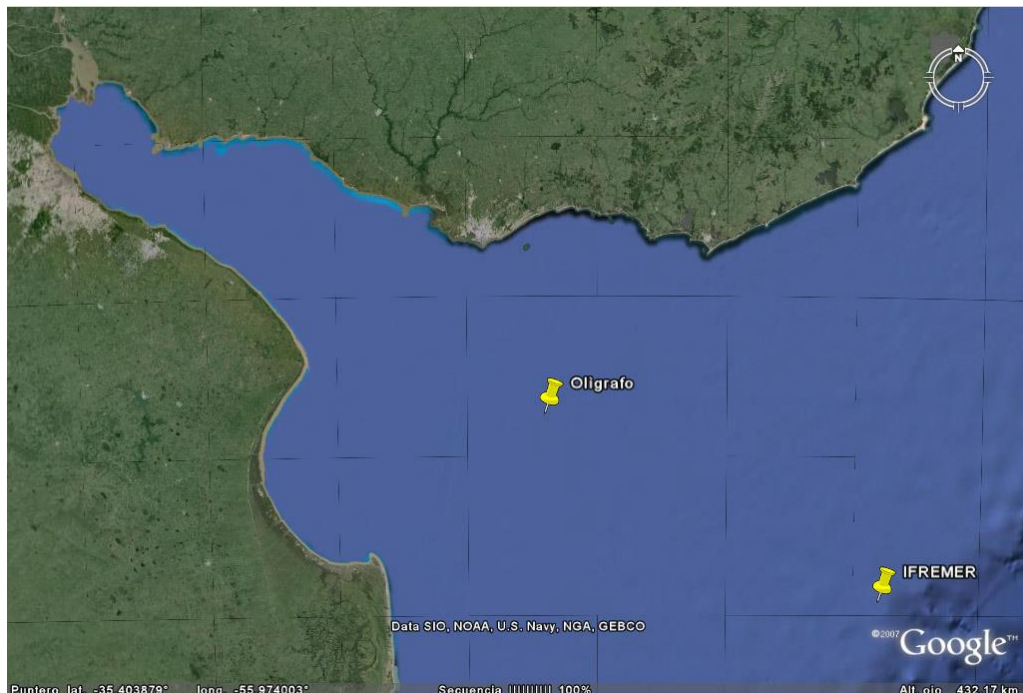


Figura 4.2.Ubicación de fuentes de información

La disponibilidad un volumen importante de información simultánea con datos referidos a mediciones del olígrafo coincidentes en tiempo con datos de IFREMER permitió desarrollar un proceso de calibración-validación destinado a ajustar de manera conveniente el valor de los parámetros que utiliza el modelo para la representación de los distintos procesos físicos intervinientes en la propagación de las olas.

Para esta tarea se decidió reproducir en forma continua la serie total del oleaje

correspondiente al año 2005, siendo éste un año en el que se cuenta con el registro de datos del olígrafo de manera ininterrumpida. La Figura 4.3 muestra el resultado de esta aplicación, comparando las series de alturas significativas del oleaje (H_s) registrada (Olígrafo) y simulada (Swan AGP) para ese año en la ubicación del olígrafo. Se observa una buena aproximación entre ambas series de tiempo, dando cuenta de la eficiencia de la metodología propuesta y de la calidad de la información de base utilizada para el desarrollo de la modelación. Del mismo modo, se pudo comprobar la capacidad del modelo para reproducir situaciones de temporal. La Figura 4.4 muestra un ejemplo que da cuenta de ello.

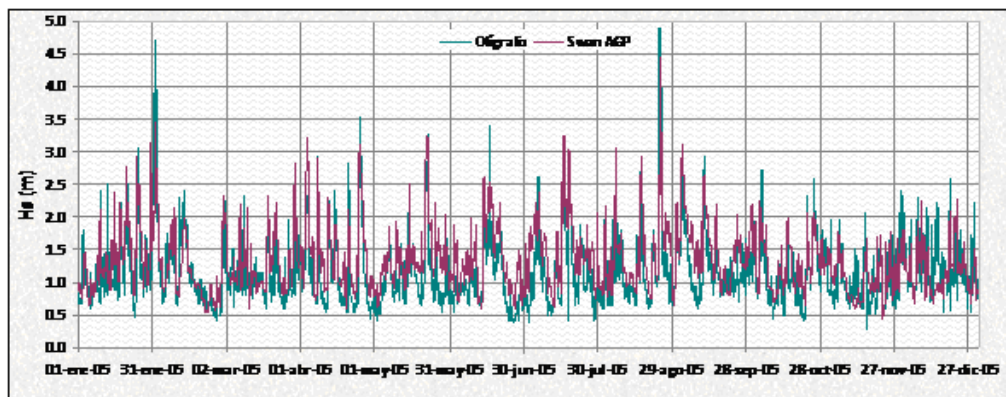


Figura 4.3.Alturas de ola medidas en el olígrafo y modeladas con SWAN para el año 2005

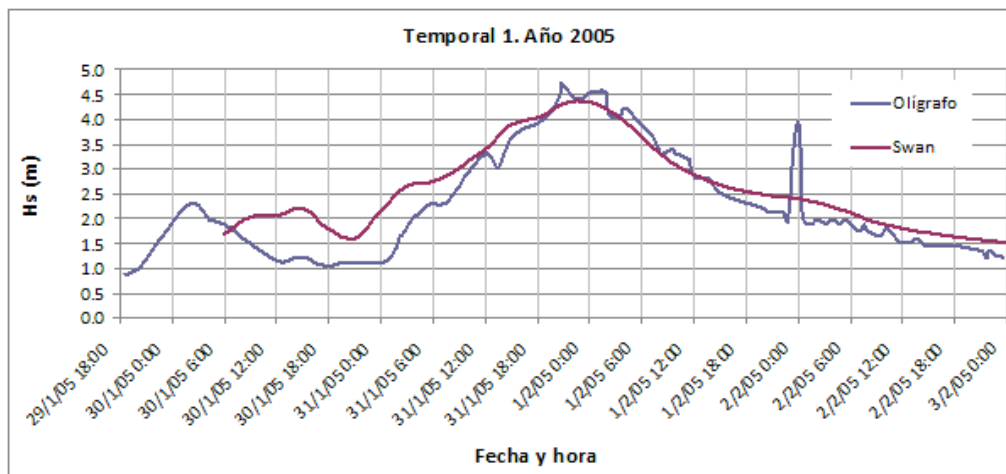


Figura 4.4.Resultado de la modelación SWAN en para el Temporal de enero-febrero 2005

4.3 Oleaje en la zona de acceso al puerto

4.3.1 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 Castellano³. Del mencionado análisis surge como resultado la Tabla 4.1.

Tabla 4.1. 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

4.3.2 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 4.5, 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.

³ Castellano, 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.

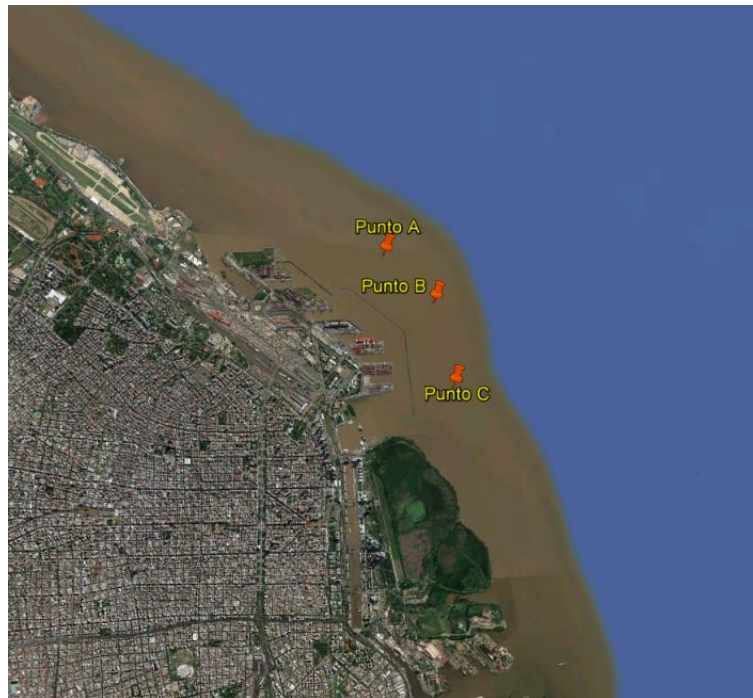


Figura 4.5. Ubicación de puntos de control para la caracterización del oleaje.

4.3.3 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 sobreelevación 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 + 4 m 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 4.6 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 4.6. 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 4.2 a Tabla 4.9. 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 4.2. 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 4.3. 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 4.4. 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 4.5. 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 4.6. 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
TR 2	B	-58.35315	-34.57526	1.42	5.30	4.15	104.03	6.78	21.79
TR 2	C	-58.34882	-34.58735	1.50	5.30	4.26	105.24	6.23	22.60
TR 5	A	-58.36253	-34.56868	1.88	6.14	4.54	97.30	6.17	24.71
TR 5	B	-58.35315	-34.57526	1.78	6.14	4.53	102.17	6.78	25.00
TR 5	C	-58.34882	-34.58735	1.89	6.14	4.59	103.30	6.23	25.25
TR 10	A	-58.36253	-34.56868	1.97	6.14	4.59	96.00	6.17	24.93
TR 10	B	-58.35315	-34.57526	1.91	6.14	4.60	101.69	6.78	25.36
TR 10	C	-58.34882	-34.58735	1.99	6.14	4.64	102.75	6.23	25.49
TR 20	A	-58.36253	-34.56868	2.03	6.14	4.61	94.58	6.17	25.04
TR 20	B	-58.35315	-34.57526	2.00	6.14	4.64	99.95	6.78	25.63
TR 20	C	-58.34882	-34.58735	2.07	6.14	4.66	101.54	6.23	25.52
TR 50	A	-58.36253	-34.56868	2.08	6.14	4.61	93.78	6.17	24.90
TR 50	B	-58.35315	-34.57526	2.06	6.14	4.64	99.62	6.78	25.45
TR 50	C	-58.34882	-34.58735	2.11	6.14	4.66	101.24	6.23	25.38
TR 100	A	-58.36253	-34.56868	2.10	6.14	4.60	92.95	6.17	24.77
TR 100	B	-58.35315	-34.57526	2.11	6.14	4.65	98.24	6.78	25.42
TR 100	C	-58.34882	-34.58735	2.14	6.14	4.66	100.32	6.23	25.32
TR 500	A	-58.36253	-34.56868	2.15	6.14	4.59	92.16	6.17	24.43
TR 500	B	-58.35315	-34.57526	2.17	6.14	4.64	97.84	6.78	25.05
TR 500	C	-58.34882	-34.58735	2.17	6.14	4.65	99.81	6.23	24.94

Tabla 4.7. 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
TR 2	B	-58.35315	-34.57526	1.63	5.30	4.38	111.23	6.78	23.64
TR 2	C	-58.34882	-34.58735	1.70	6.14	4.44	109.31	6.23	23.88
TR 5	A	-58.36253	-34.56868	1.90	6.14	4.57	103.88	6.17	24.89
TR 5	B	-58.35315	-34.57526	1.82	6.14	4.54	109.57	6.78	24.93
TR 5	C	-58.34882	-34.58735	1.90	6.14	4.58	107.88	6.23	25.03
TR 10	A	-58.36253	-34.56868	1.96	6.14	4.58	103.52	6.17	24.87
TR 10	B	-58.35315	-34.57526	1.89	6.14	4.57	109.70	6.78	25.09
TR 10	C	-58.34882	-34.58735	1.96	6.14	4.60	107.66	6.23	25.13
TR 20	A	-58.36253	-34.56868	1.99	6.14	4.59	103.12	6.17	24.90
TR 20	B	-58.35315	-34.57526	1.95	6.14	4.59	109.24	6.78	25.13
TR 20	C	-58.34882	-34.58735	2.00	6.14	4.61	107.27	6.23	25.12
TR 50	A	-58.36253	-34.56868	2.02	6.14	4.60	102.81	6.17	24.86
TR 50	B	-58.35315	-34.57526	1.99	6.14	4.60	108.79	6.78	25.11
TR 50	C	-58.34882	-34.58735	2.04	6.14	4.62	107.05	6.23	25.18
TR 100	A	-58.36253	-34.56868	2.04	6.14	4.59	102.62	6.17	24.77
TR 100	B	-58.35315	-34.57526	2.02	6.14	4.60	108.50	6.78	25.12
TR 100	C	-58.34882	-34.58735	2.06	6.14	4.62	106.98	6.23	25.14
TR 500	A	-58.36253	-34.56868	2.06	6.14	4.59	102.37	6.17	24.68
TR 500	B	-58.35315	-34.57526	2.07	6.14	4.61	108.07	6.78	25.04
TR 500	C	-58.34882	-34.58735	2.09	6.14	4.62	106.83	6.23	24.99

Tabla 4.8. 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
TR 2	B	-58.35315	-34.57526	1.42	5.30	4.09	120.01	6.78	21.12
TR 2	C	-58.34882	-34.58735	1.43	5.30	4.09	116.33	6.23	20.85
TR 5	A	-58.36253	-34.56868	1.79	5.30	4.50	111.38	6.17	24.28
TR 5	B	-58.35315	-34.57526	1.71	5.30	4.39	118.48	6.78	23.62
TR 5	C	-58.34882	-34.58735	1.73	5.30	4.40	114.66	6.23	23.42
TR 10	A	-58.36253	-34.56868	1.90	6.14	4.53	110.77	6.17	24.45
TR 10	B	-58.35315	-34.57526	1.84	6.14	4.48	117.68	6.78	24.35
TR 10	C	-58.34882	-34.58735	1.86	6.14	4.48	113.68	6.23	24.01
TR 20	A	-58.36253	-34.56868	1.97	6.14	4.55	110.51	6.17	24.45
TR 20	B	-58.35315	-34.57526	1.93	6.14	4.53	117.03	6.78	24.58
TR 20	C	-58.34882	-34.58735	1.95	6.14	4.52	113.16	6.23	24.26
TR 50	A	-58.36253	-34.56868	2.03	6.14	4.55	110.44	6.17	24.29
TR 50	B	-58.35315	-34.57526	2.02	6.14	4.55	116.52	6.78	24.56
TR 50	C	-58.34882	-34.58735	2.03	6.14	4.54	113.26	6.23	24.25
TR 100	A	-58.36253	-34.56868	2.06	6.14	4.54	110.53	6.17	24.04
TR 100	B	-58.35315	-34.57526	2.07	6.14	4.55	116.36	6.78	24.40
TR 100	C	-58.34882	-34.58735	2.06	6.14	4.53	113.61	6.23	24.03
TR 500	A	-58.36253	-34.56868	2.11	6.14	4.52	111.10	6.17	23.56
TR 500	B	-58.35315	-34.57526	2.14	6.14	4.52	116.61	6.78	23.74
TR 500	C	-58.34882	-34.58735	2.12	6.14	4.49	114.75	6.23	23.43

Tabla 4.9. 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

4.4 Agitación dentro del recinto portuario

4.4.1 Planteo

Se evaluó 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 AGP, 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.

4.4.2 Secciones y puntos de control

Con el propósito de identificar valores promedio de Hs 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 4.7. 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).

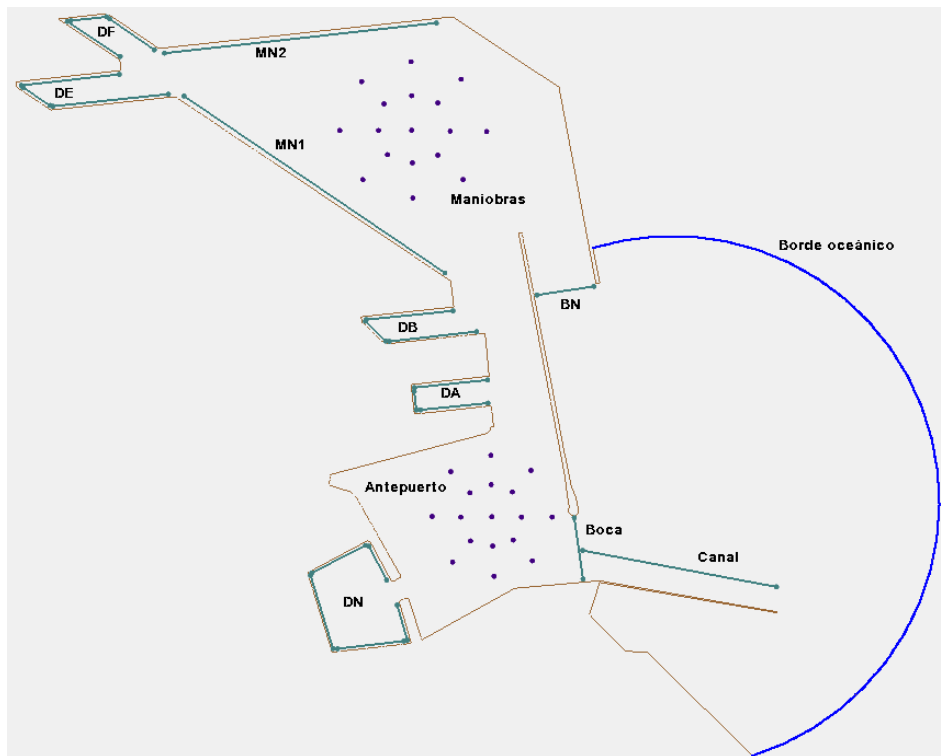


Figura 4.7. Ubicación de puntos y secciones de control.

4.4.3 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 4.10 y la Tabla 4.11 presentan los resultados de la modelación, indicando valores de altura significativa Hs 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.

Tabla 4.10. 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 4.11. Resultados de agitación para escenarios con relleno de 1500 m de extensión

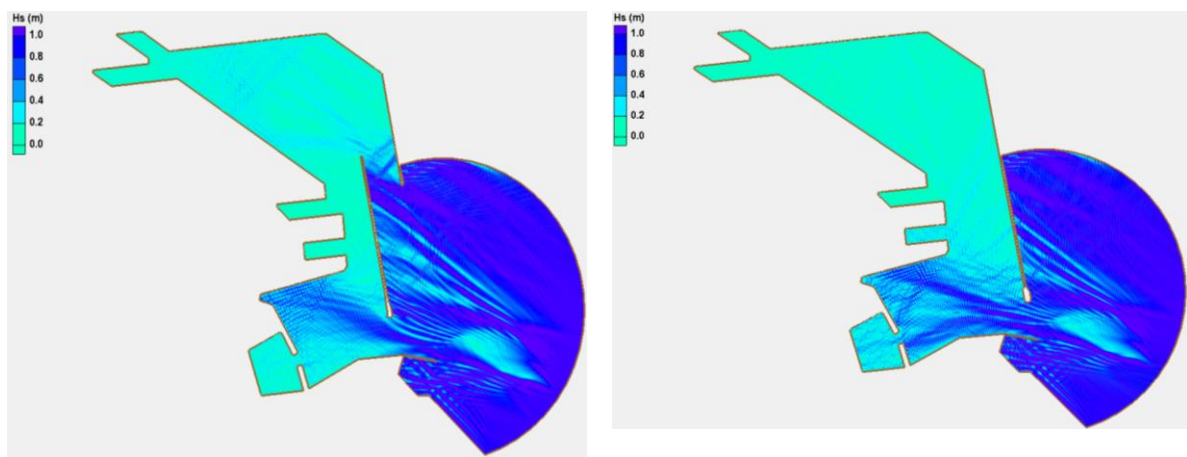
Esc	Dir	Promedio Hs (m) para cada sector											
		Canal	Boca	DN	DA	DB	DE	DF	MN1	MN2	Ant	Man	BN
E10	E	0.42	0.40	0.07	0.17	0.03	0.02	0.02	0.05	0.05	0.23	0.06	0.72
	ENE	1.07	0.70	0.16	0.07	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.54	0.04	0.48
	ESE	0.34	0.31	0.07	0.11	0.02	0.06	0.06	0.08	0.12	0.21	0.10	0.93
E11	E	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

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. 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.

4.4.4 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 4.10).

La Figura 4.8 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).



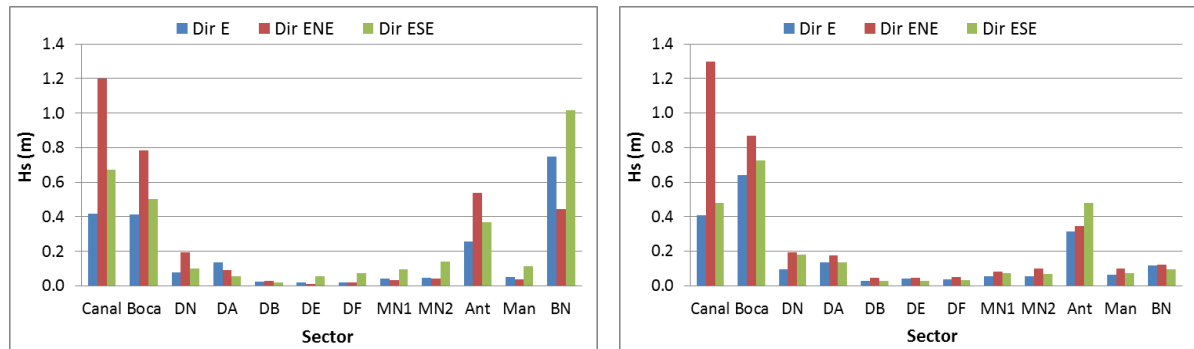
a) Escenario E6 con oleaje de dirección ESE

b) Escenario E7 con oleaje de dirección ESE

Figura 4.8. 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 4.9, 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 Hs 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.



a) Valores promedio de Hs (m) para E6

b) Valores promedio de Hs (m) para E7

Figura 4.9. Comparación de patrones de agitación entre escenarios E6 y E7.

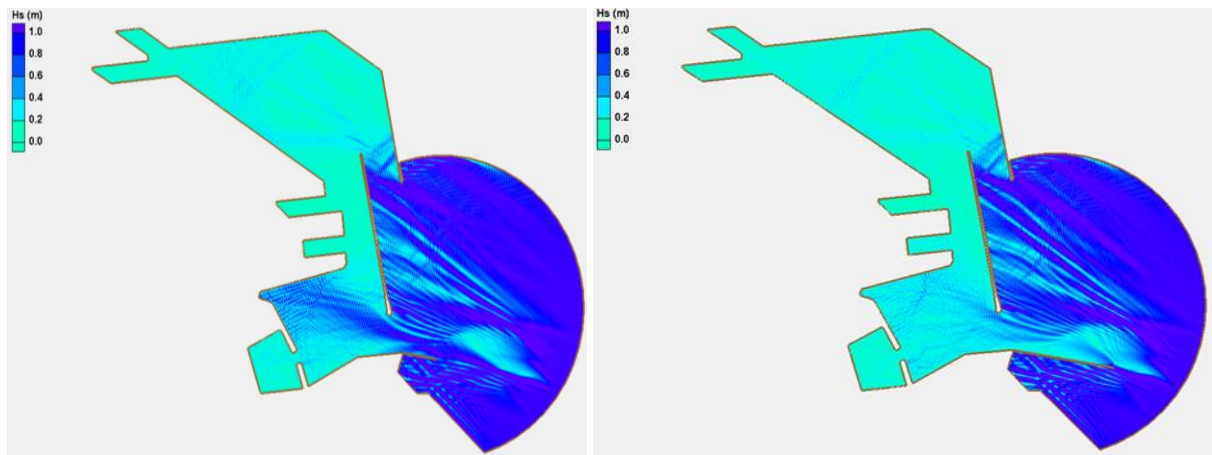
Cabe destacar que, de acuerdo a la disposición de las obras de abrigo, el sector de Antepuerto correspondiente al escenario E6 coincide con la configuración actual del puerto.

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 4.11) permite realizar las mismas observaciones.

4.4.5 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 Hs correspondientes a los Escenarios E6 y E2 (Tabla 4.10).

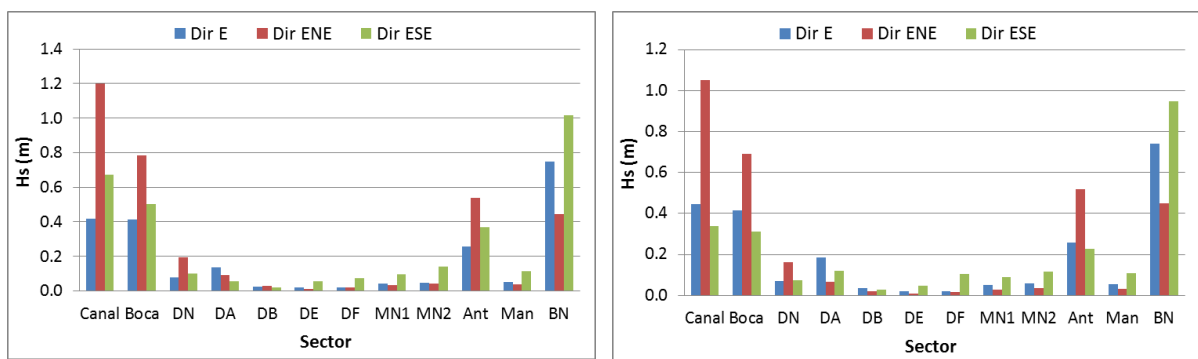
La Figura 4.10 permite apreciar las diferencias en la distribución de alturas de ola dentro del recinto portuario para las configuraciones mencionadas, considerando el caso de un oleaje incidente desde la dirección ESE. Se observa que la extensión de la obra de abrigo reduce considerablemente el ingreso 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 4.10. Influencia de la extensión de la obra de abrigo Sur sobre la agitación interior.

En la Figura 4.11 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 4.4.4, 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 4.11. Comparación de patrones de agitación entre escenarios E6 y E2.

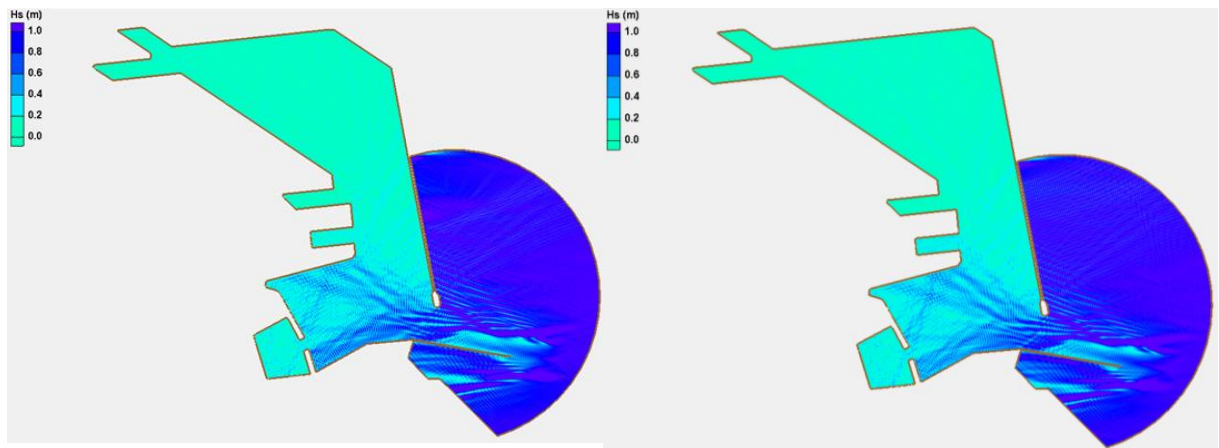
Un resultado similar puede obtenerse si se evalúa el impacto de la extensión de la obra de abrigo Sur sobre la configuración que contempla un relleno con extensión de 1500 m. En este caso, el contraste de valores representativos de la agitación para los escenarios E14 y E10 (Tabla 4.11) permite realizar las mismas observaciones.

4.4.6 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 4.12 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.

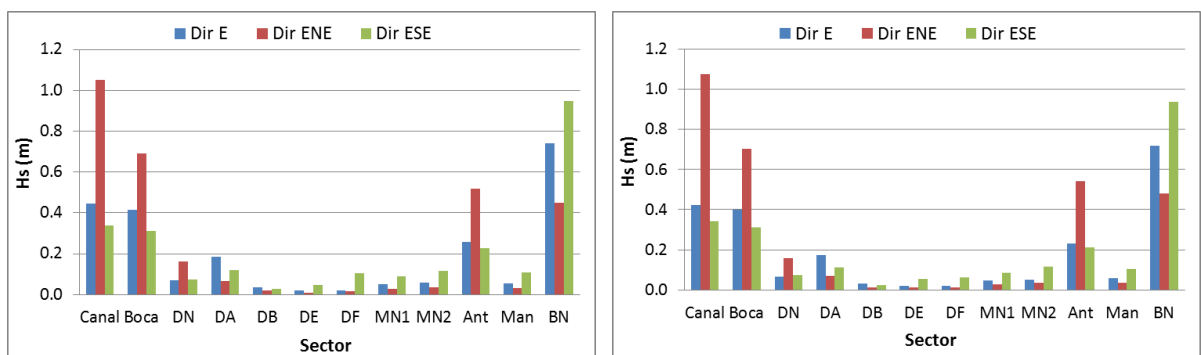
Los gráficos de barras de la Figura 4.13 y la Figura 4.14, comparando patrones de agitación entre los escenarios E2 con E10 y E3 con E11, respectivamente, confirman estas observaciones.



a) Escenario E3 con dirección del oleaje E

b) Escenario E11 con dirección del oleaje E

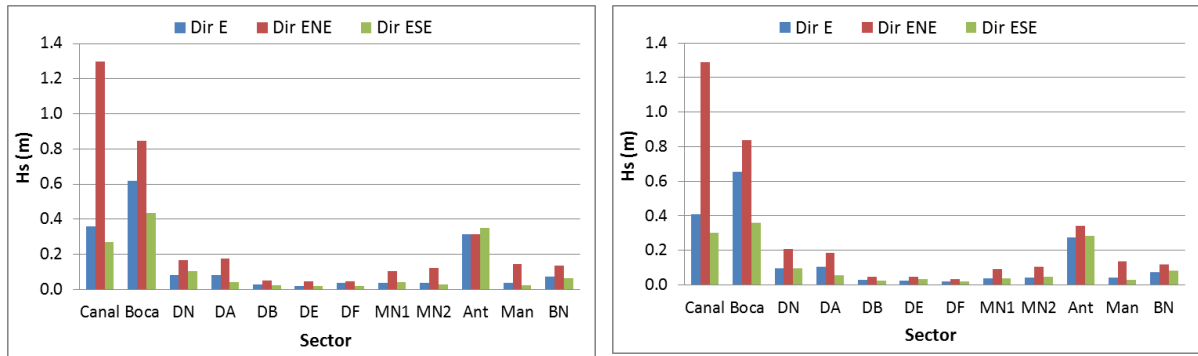
Figura 4.12. Influencia de la extensión del relleno sobre la agitación interior.



a) Valores promedio de Hs (m) para E2

b) Valores promedio de Hs (m) para E10

Figura 4.13. Comparación de patrones de agitación entre escenarios E2 y E10.



a) Valores promedio de Hs (m) para E3

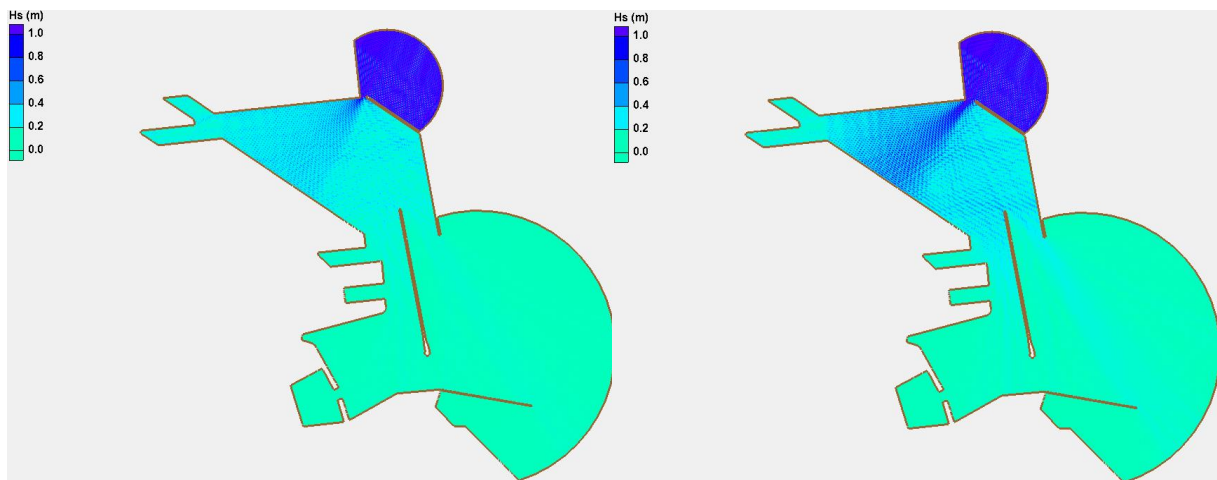
b) Valores promedio de Hs (m) para E11

Figura 4.14. Comparación de patrones de agitación entre escenarios E3 y E11.

4.4.7 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 4.15 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.



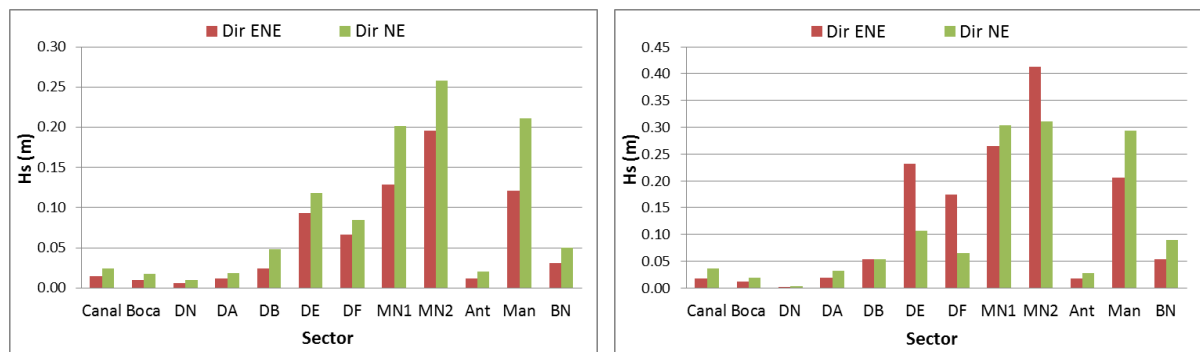
a) Escenario E1 con oleaje NE (Boca Falsa 50

b) Escenario E1b con oleaje NE (Boca 100 m)

m)

Figura 4.15. Influencia de la apertura de la boca falsa sobre la agitación interior

Los gráficos de barras presentados en la Figura 4.16 muestran una comparación cuantitativa indicando valores de agitación obtenidos en ambos escenarios para las dos direcciones de oleaje analizadas. Los valores de Hs 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

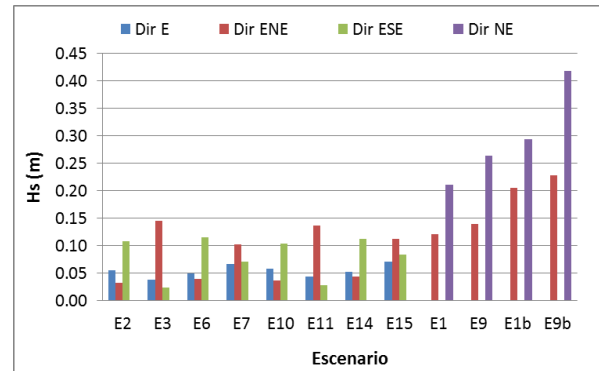
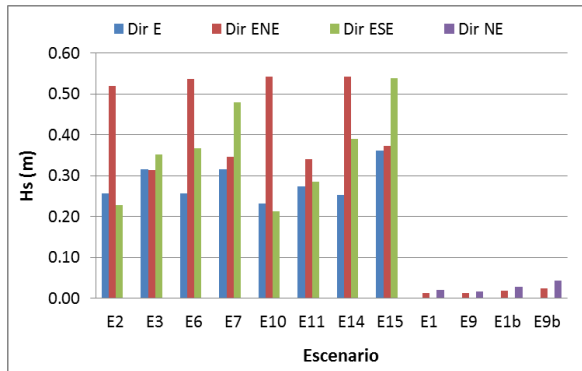
Figura 4.16. Comparación de patrones de agitación

Un resultado similar puede obtenerse evaluando los valores obtenidos para los escenarios E9 y E9b (Tabla 4.11), correspondientes a una configuración con extensión de relleno de 1500 m.

4.4.8 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.

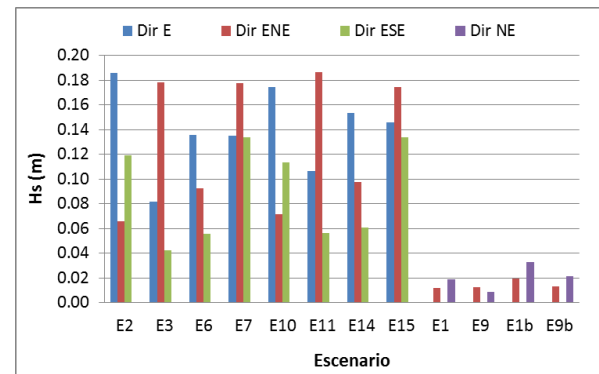
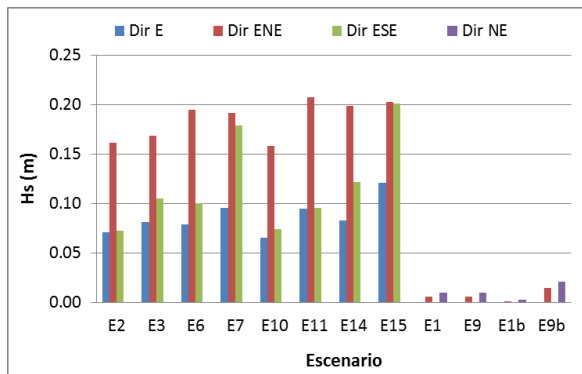
Los gráficos de barras presentados a continuación corresponden, cada uno, a un sitio particular del interior del puerto, indicando los valores de Hs (m) promedio que se obtendrían en esa ubicación para cada uno de los 12 escenarios evaluados. Este análisis contempla los siguientes sectores: áreas de maniobra (Figura 4.17), dársenas Norte y A (Figura 4.18), dársenas E y F (Figura 4.19) y muelles nuevos (Figura 4.20).



a) Valores promedio de Hs (m) en Antepuerto

b) Valores promedio de Hs (m) en Maniobras

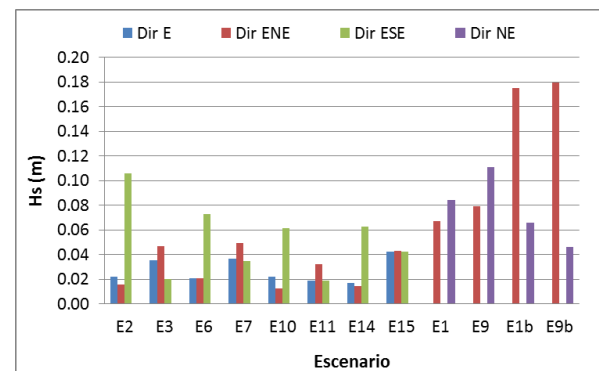
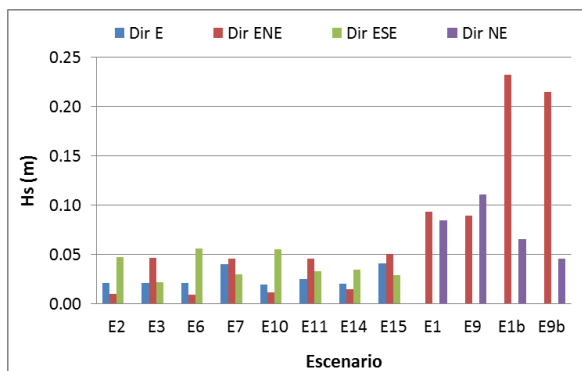
Figura 4.17. Agitación en áreas de maniobra para los escenarios analizados



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

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

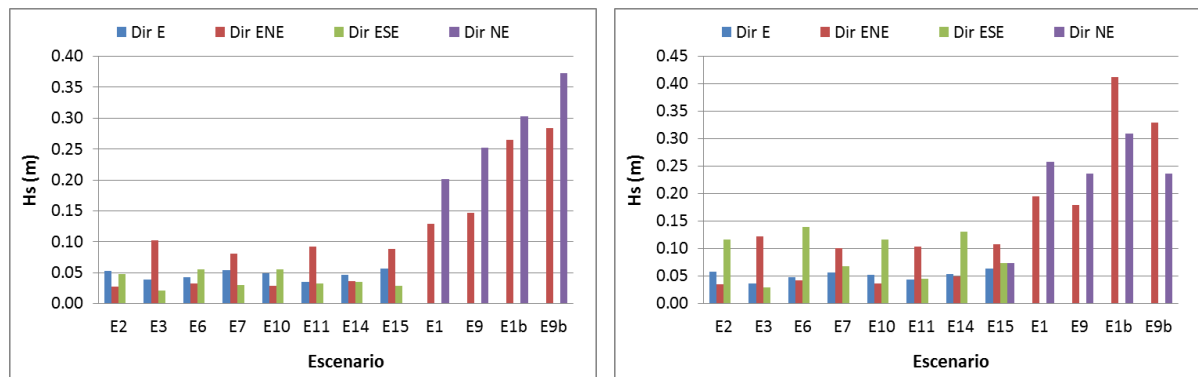
Figura 4.18. Agitación en Dársenas Norte y A para los escenarios analizados



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

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

Figura 4.19. 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 4.20. Agitación en muelles nuevos para los escenarios analizados

De la Figura 4.17 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 4.17b 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 4.18a) 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 Hs para varios escenarios futuros respecto de la configuración actual (E6), pero en ningún caso se superaría el nivel $H_s = 0.2$ m (Figura 4.18b). La dársena B no fue incluida en este análisis, pero los valores presentados en la Tabla 4.10 y la Tabla 4.11 indican en todos los casos niveles de agitación por debajo de $H_s = 0.1$ m.

La Figura 4.19 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 Hs 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 4.20) 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).

4.4.9 Síntesis

Los resultados indican que, en términos generales, no se esperaran grandes incrementos sobre los valores promedios de Hs 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 Hs para ambos sectores.

4.5 Agitación durante eventos extremos

4.5.1 Planteo

Los presentados en las secciones previas permitieron identificar las alternativas de mayor interés para un análisis complementario desde el punto de vista de la agitación interna producida por el oleaje. En virtud de esos resultados, se seleccionaron las alternativas E3, E6 y E7 para evaluar su respuesta frente a la ocurrencia de eventos extremos.

Esta etapa de evaluación incorpora una caracterización del oleaje en términos más realistas, considerando espectros direccionales para representar las olas incidentes en cada escenario hidrodinámico analizado. Las simulaciones realizadas corresponden a condiciones de oleaje (Hs, Tp y Dir) y niveles de marea asociados a eventos con períodos de retorno de $T_r = 10$ años.

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.

4.5.2 Secciones y puntos de control

Con el propósito de identificar valores promedio de Hs 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 4.21. 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 E (DA, DB, DE), y Cabecera del Espigón 6 (CE6)
- Secciones de control en muelles nuevos: MN1 y MN2.
- Puntos de control en zonas de maniobras de los buques: Antepuerto (Ant) y Maniobras (Man).

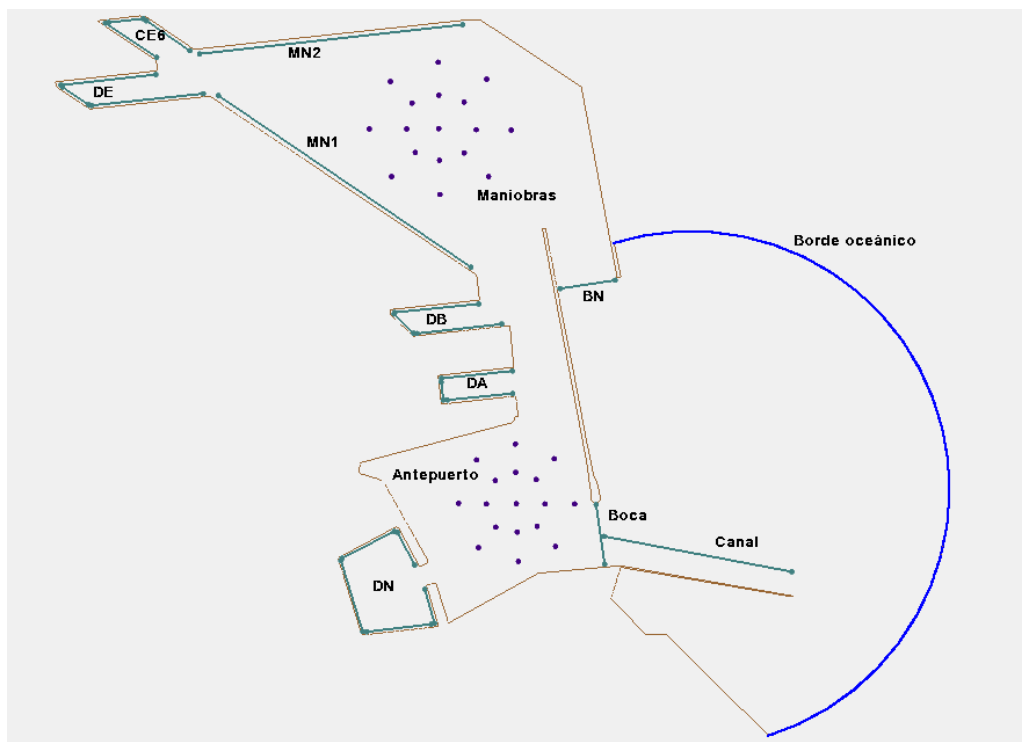


Figura 4.21. Ubicación de puntos y secciones de control.

4.5.3 Escenarios hidrodinámicos para el análisis

El conjunto de escenarios hidrodinámicos utilizados para realizar las simulaciones fue seleccionado sobre la base de los resultados presentados en el Segundo Informe de Avance para el análisis de valores extremos en la zona de acceso al puerto.

La Tabla 4.12 muestra los valores de altura significativa, período de pico y dirección de incidencia del oleaje considerados para representar el oleaje propagado desde el contorno del modelo (borde oceánico) hacia el interior del recinto. Los mismos caracterizan paramétricamente a las olas generadas en esa zona por vientos de la dirección indicada como nombre del escenario e intensidad correspondiente a $Tr = 10$ años.

Para representar la distribución de densidad de energía de las olas en la modelación se utilizó la función de Jonswap. Los escenarios de análisis para cada simulación se completan con la consideración de un nivel de marea de $N = 3.50$ MOP, asociado también al valor de $Tr = 10$ años.

Tabla 4.12. Parámetros del oleaje utilizados para la modelación

Escenario	Hs (m)	Tp (s)	Dir (°)
Viento NE	1.59	5.30	71.8
Viento ENE	1.77	5.60	93.1
Viento E	1.96	6.14	100.8
Viento ESE	1.94	6.14	109.7
Viento SE	1.90	6.14	114.0

4.5.4 Resultados

Para este análisis se realizaron en total 15 simulaciones numéricas, evaluando la agitación interna producida por cada uno de los escenarios de la Tabla 4.12 para las tres configuraciones portuarias seleccionadas.

La Tabla 4.13 presenta los resultados de la modelación, indicando valores de altura significativa Hs promedio en cada sector de interés.

La Figura 4.22 a la Figura 4.24 muestran la comparación de la agitación promedio obtenida en los diferentes sectores de interés para la actividad del puerto correspondientes a los tres escenarios.

Los valores de Hs observados en los tres casos no difieren demasiado entre sí, a excepción de la Dársena A, que puede verse comprometida por la incidencia de las sudestadas para el caso de la configuración E7.

Estos resultados motivan el análisis sobre la longitud que debería tener el Malecón Sur para proteger el interior del puerto frente a la ocurrencia de sudestadas si se optara por una configuración que contemplara el corrimiento de la Escollera Sur.

Tabla 4.13. Resultados de la modelación

Esc	Dir	Promedio Hs (m) para cada sector											
		Canal	Boca	DN	DA	DB	CE6	DF	MN1	MN2	Ant	Man	BN
E3	NE	1.61	1.66	0.35	0.27	0.10	0.10	0.11	0.19	0.20	0.76	0.24	0.25
	ENE	1.52	1.60	0.40	0.26	0.09	0.10	0.11	0.16	0.17	0.92	0.18	0.27
	E	1.61	1.67	0.43	0.29	0.10	0.10	0.12	0.15	0.15	0.99	0.17	0.29
	ESE	1.46	1.48	0.39	0.25	0.08	0.09	0.10	0.12	0.12	0.93	0.13	0.26
	SE	1.37	1.37	0.36	0.23	0.08	0.08	0.09	0.11	0.11	0.88	0.12	0.24
E6	NE	1.57	1.58	0.38	0.27	0.07	0.09	0.09	0.12	0.14	0.99	0.14	1.17
	ENE	1.56	1.54	0.43	0.28	0.08	0.14	0.14	0.16	0.20	1.05	0.20	1.45
	E	1.82	1.60	0.40	0.22	0.10	0.16	0.19	0.20	0.25	1.06	0.25	1.88
	ESE	1.75	1.46	0.37	0.30	0.10	0.21	0.19	0.22	0.29	1.03	0.30	1.91
	SE	1.71	1.80	0.32	0.30	0.10	0.19	0.18	0.21	0.27	0.91	0.29	1.85
E7	NE	1.58	1.72	0.33	0.34	0.11	0.09	0.10	0.18	0.19	0.76	0.24	0.26
	ENE	1.70	1.72	0.38	0.46	0.10	0.10	0.10	0.15	0.18	0.93	0.18	0.34
	E	1.75	1.89	0.43	0.59	0.11	0.13	0.12	0.17	0.20	1.06	0.22	0.41
	ESE	1.76	1.91	0.41	0.70	0.15	0.14	0.14	0.20	0.22	1.06	0.23	0.48
	SE	1.72	1.83	0.38	0.71	0.15	0.14	0.14	0.19	0.22	1.01	0.23	0.48

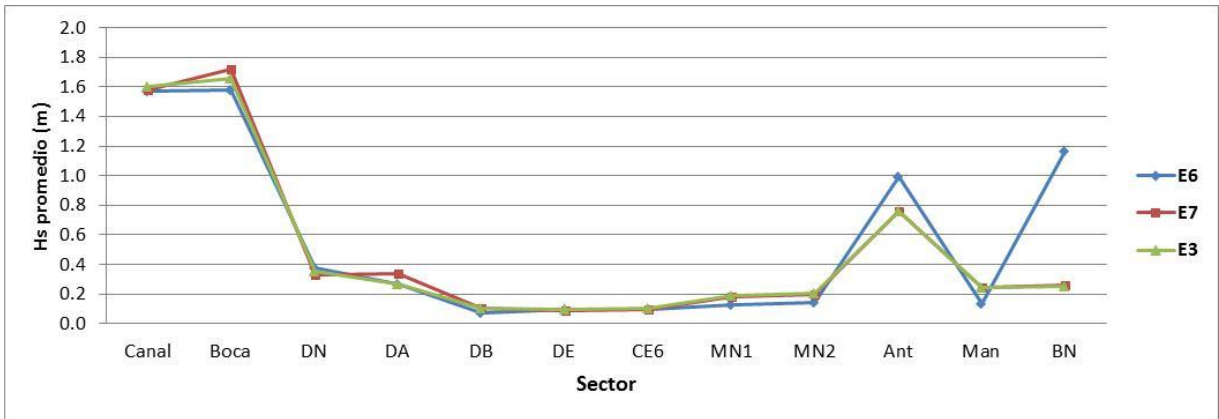


Figura 4.22. Valores de agitación promedio para el oleaje generado por Viento NE

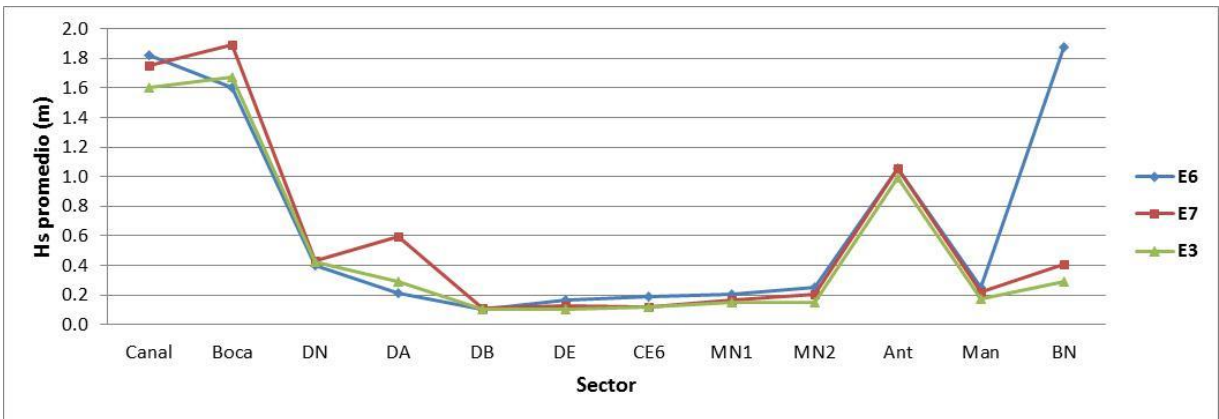


Figura 4.23. Valores de agitación promedio para el oleaje generado por Viento E

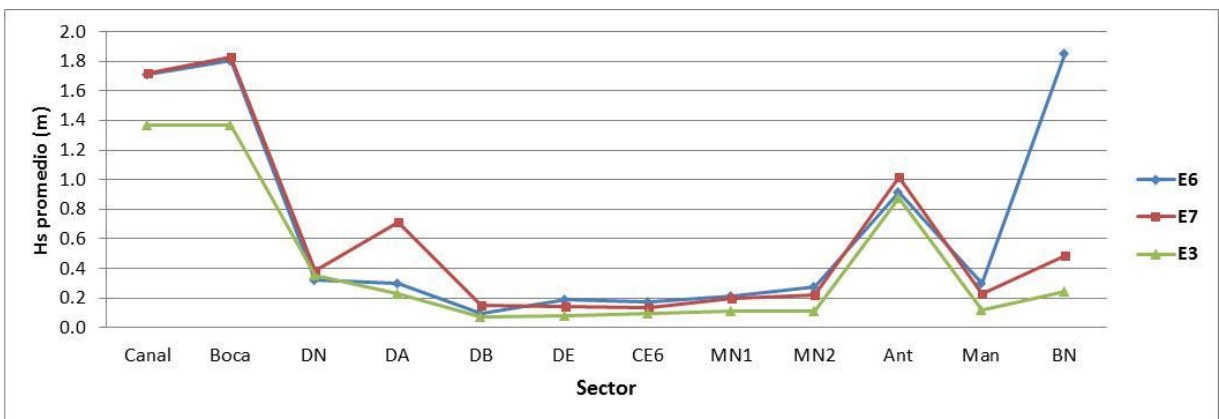


Figura 4.24. Valores de agitación promedio para el oleaje generado por Viento SE

4.5.5 Evaluación de la extensión del Malecón Sur

Se realizaron 4 simulaciones adicionales para representar los efectos de la prolongación del Malecón Sur desde su extensión actual (Configuración E7) hasta la configuración correspondiente a E3, con una prolongación de 550 m. Cada una de las situaciones adicionales contempla un incremento en longitud acumulado de 110 m.

Para todos los casos se consideró oleaje generado por Viento SE con nivel de marea N = 3.5 MOP. Los resultados se muestran en la Figura 4.25.

La agitación en la Dársena A (sector más comprometido) se atenúa fuertemente para extensiones mayores a 220 m. Prácticamente no existe diferencia entre 330 y 550 m.

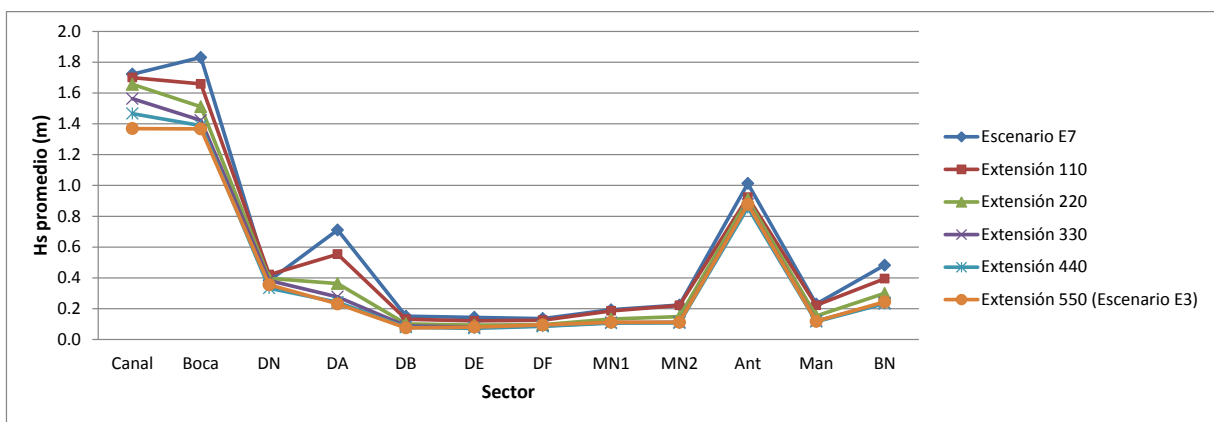


Figura 4.25. Extensión del malecón Sur para oleaje SE

5 IMPACTO HIDRÁULICO

5.1 Consideraciones generales

La ampliación del puerto producirá impactos sobre las condiciones hidráulicas en su entorno; en particular, sobre las corrientes y sobre el patrón de sedimentación. En este capítulo se generan indicadores de ese impacto, obtenidos a partir de la modelación hidrodinámica de la zona costera.

5.2 Implementación del modelo

5.2.1 Sistema de Modelación MOHID

Se utilizó el software de modelación MOHID, desarrollado por MARETEC (*Marine and Environmental Technology Research Center*) en el Instituto Superior Técnico (IST) de la Universidad Técnica de Lisboa. El mismo resuelve las ecuaciones de Navier-Stokes en tres dimensiones utilizando las aproximaciones hidrostáticas y de Boussinesq.

La técnica numérica de resolución de estas ecuaciones se formula mediante volúmenes finitos, con una discretización vertical general que permite la implementación simultánea de varios tipos de coordenadas. En el plano horizontal, las ecuaciones se discretizan utilizando una grilla escalonada Arakawa-C. La discretización temporal se lleva a cabo por medio de un algoritmo semi-implícito (ADI), con dos niveles por iteración.

El sistema MOHID también incluye la posibilidad de efectuar una modelación hidrodinámica bidimensional, resultante de integrar las ecuaciones anteriores sobre la profundidad, y válida para el caso en que la escala de estudio es mucho mayor que la profundidad. Esta es la aproximación utilizada para esta parte del estudio.

5.2.2 Dominios de cálculo

El modelo está implementado sobre tres dominios anidados (Figura 5.1). El Dominio 1, que es el de mayor extensión (y menor resolución), provee de condiciones de borde al Dominio 2 y éste a su vez al Dominio 3, que es el de menor extensión (y mayor resolución). La zona-problema se resuelve detalladamente en el Dominio 3.

El Dominio 1 abarca prácticamente todo el Río de la Plata Interior, llegando hasta la línea imaginaria Punta Piedras (Argentina) – Punta del Tigre (Desembocadura del río Santa Lucía, Uruguay). Sus dimensiones son de 210 km x 98 km; fue discretizado con un paso espacial de 1 km en ambas direcciones, resultando 210 celdas en la dirección x y 98 en la dirección y. El Dominio 2 se ubica sobre la Franja Costera Sur del Río de la Plata, aproximadamente desde

San Isidro hasta Ensenada, con una longitud de 62 km y un ancho de 30 km, y fue discretizado con un paso de 200 m en ambas direcciones, resultando 310 celdas en x y 150 celdas en y. El Dominio 3 tiene 20 km de largo y 11 km de ancho, y fue discretizado con un paso de 40 m en ambas direcciones, resultando en 517 columnas y 278 filas, comenzando en el límite entre la Ciudad de Buenos Aires y el partido de Vicente López (Av. Gral Paz) y llegando hasta Quilmes, focalizándose en la zona-problema.

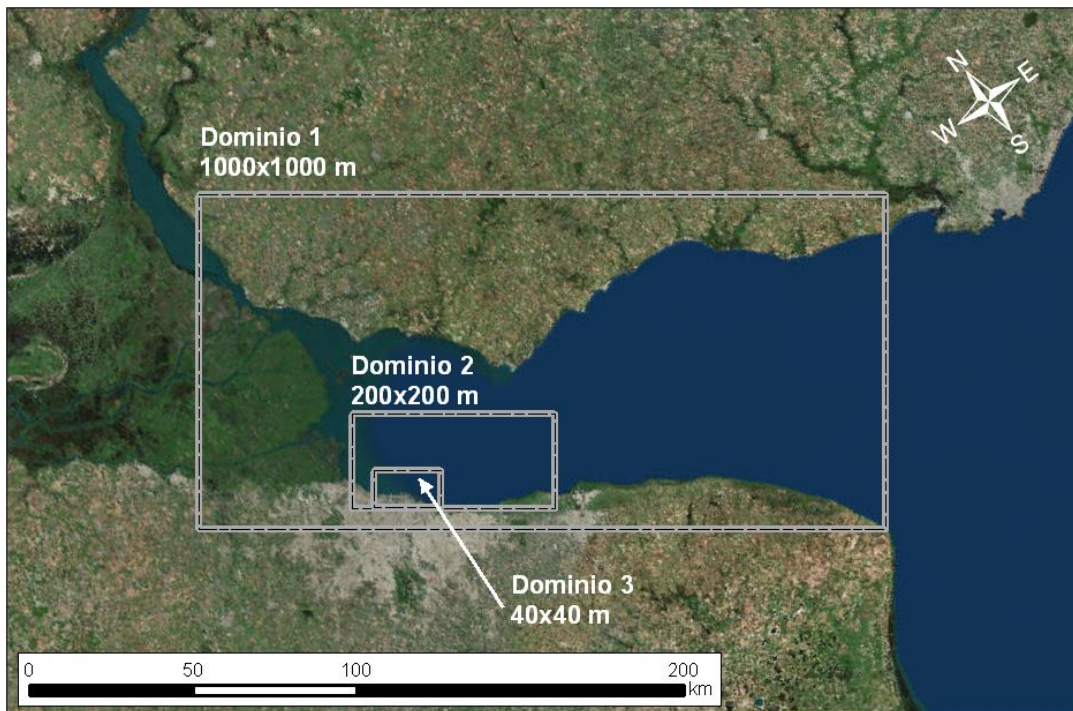


Figura 5.1. Dominios de cálculo.

Por razones de precisión (y, eventualmente, de estabilidad numérica), el paso de discretización temporal (Δt) depende del paso espacial, de modo que este resulta distinto en cada uno de los dominios. La relación entre ellos tiene que ser del orden de la celeridad de propagación de la onda de marea. Para el presente problema se seleccionaron los valores mostrados en la Tabla 5.1.

Tabla 5.1. Paso temporal para cada dominio.

Dominio	Δx [m]	Δt [seg]
1	1000	180
2	200	30
3	40	6

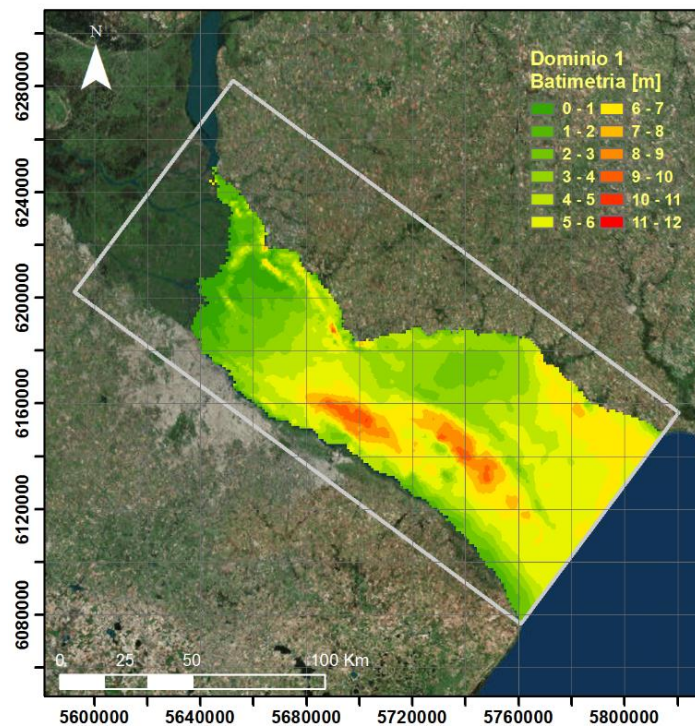
5.2.3 Batimetría

Para representar la batimetría del Río de la Plata se utilizó una base de datos altimétricos puntuales, digitalizados a partir de las siguientes cartas náuticas del Servicio de Hidrografía Naval (SHN):

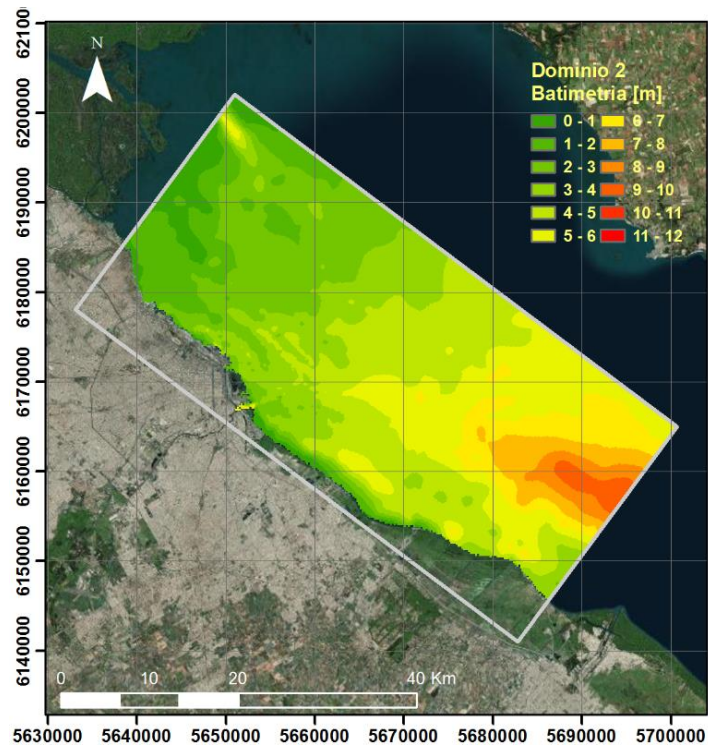
- o SHN-H116, Río de la Plata Medio y Superior
- o SHN-H118, Río de la Plata Superior
- o SHN-H130, Delta del Paraná
- o SHN-H156, Puerto de Buenos Aires

Estas cartas representan distintas escalas de resolución, de modo que incluyen diferentes densidades de puntos. En las zonas de superposición entre cartas se seleccionaron los puntos con mayor densidad. En total, se digitalizaron 5.679 puntos.

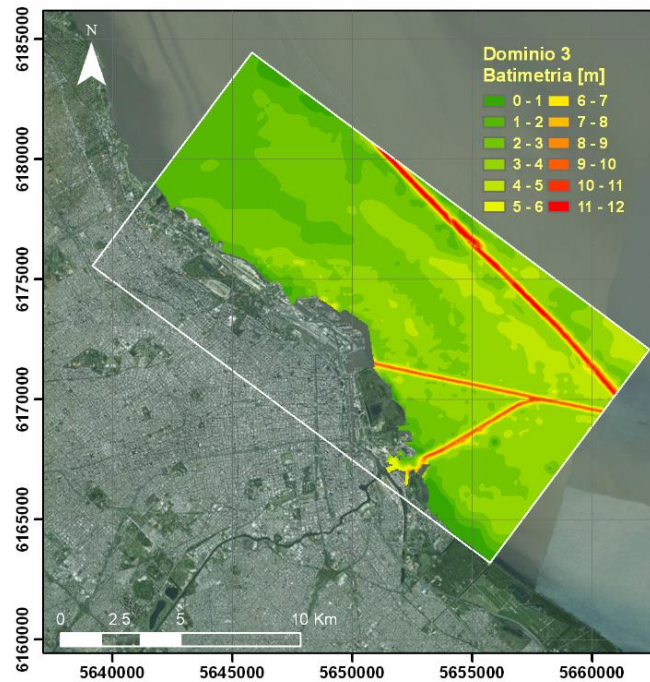
La Figura 5.2 muestra los Modelos Digitales de Elevación (MDE) del fondo resultantes para cada dominio, cada uno con el paso de discretización correspondiente.



a) Dominio 1



b) Dominio 2



c) Dominio 3

Figura 5.2. MDE del fondo para cada dominio.

5.2.4 Forzantes

Los principales forzantes del movimiento son la marea oceánica y el aporte de los tributarios, los cuales fueron implementados en el Dominio 1 como condiciones de borde.

La onda de marea oceánica se especifica en la línea Punta Piedras – Punta del Tigre, a partir de resultados provistos por el modelo regional RPP2D⁴.

El aporte de los tributarios se materializa como ingresos de caudal en la cabecera del Río de la Plata, habiéndose representado las bocas de los ríos Uruguay, Sauce - Paraná Bravo, Paraná Guazú, Paraná Mini, Paraná de las Palmas, Barca Grande y Luján (Figura 5.3). Las series temporales de caudales de los ríos Uruguay y Paraná fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información Hídrica (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación). A partir del caudal del río Paraná, los correspondientes a sus diversos brazos se obtuvieron a través de un esquema de partición establecido⁵. Por su parte, se adoptó 15 m³/s como caudal medio del río Luján⁶.

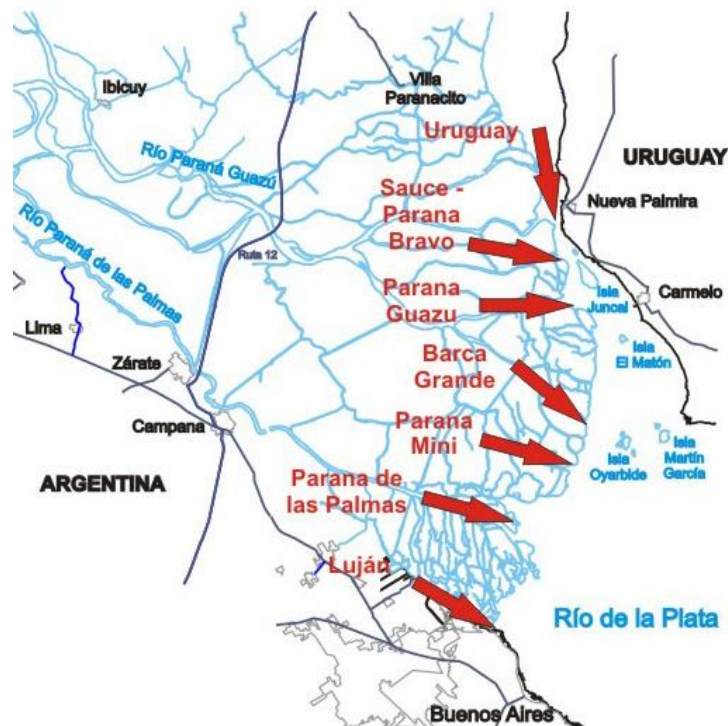


Figura 5.3. Tributarios del Río de la Plata.

⁴Re, M., Menéndez, A.N., 2007, Impacto del Cambio Climático en las Costas del Río de la Plata, Revista Internacional de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil, 7 (1).

⁵ Bombardelli, F.A, Menéndez, A.N, Brea, J.D., Lapetina, M.R., UriburuQuirno, M., 1995, Estudio hidrodinámico del Delta del Río Paraná mediante modelación matemática, Informe LHA-INCYTH 137-03-95.

⁶Menéndez, A.N., Lopolito, M.F., Badano, N.D., Re, M., "Evaluación de la Calidad del Agua en la Franja Costera Sur del Río de la Plata mediante Modelación Numérica", Informe INA-LHA 02-1.207-11, enero de 2011

5.3 Validación del modelo

5.3.1 Condiciones normales

Se dispuso de mediciones de velocidad de corriente realizadas por Aguas Argentinas S.A. (actual AySA, Agua y Saneamientos Argentinos S.A.) en las ubicaciones que se presentan en la Figura 5.4, cercanas a las tomas de agua de Palermo y de Bernal para el período 10/Mar al 20/Abr de 2004. Para la validación se utilizó la ventana temporal 19/Mar/04 – 24/Mar/04, que es un período durante el cual la situación es de vientos suaves, que puede considerarse como representativo de un escenario hidrometeorológico normal.

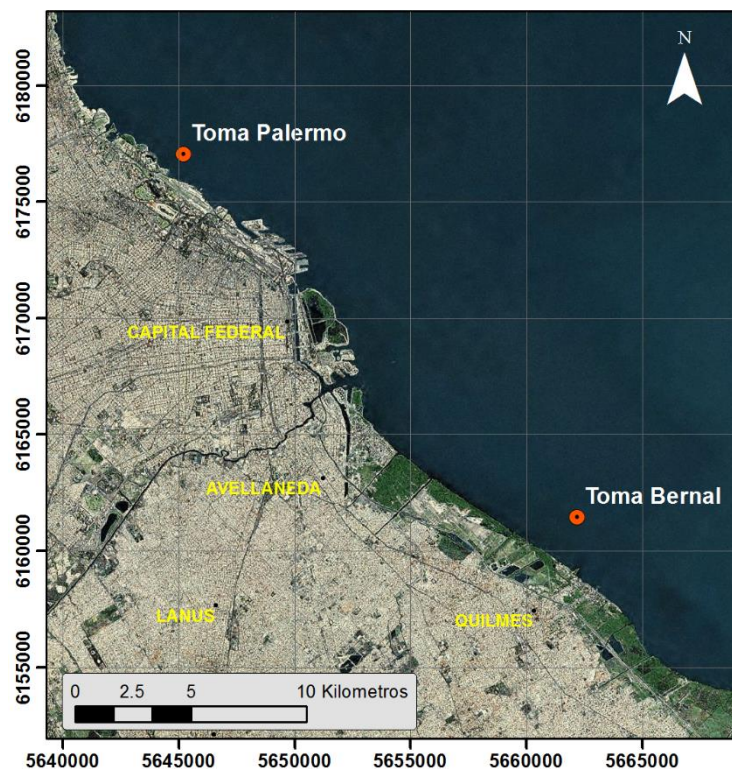
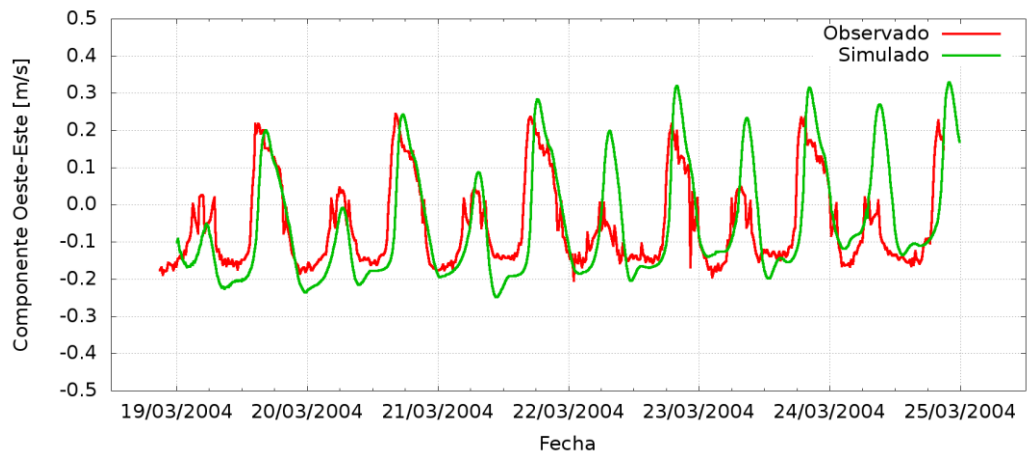
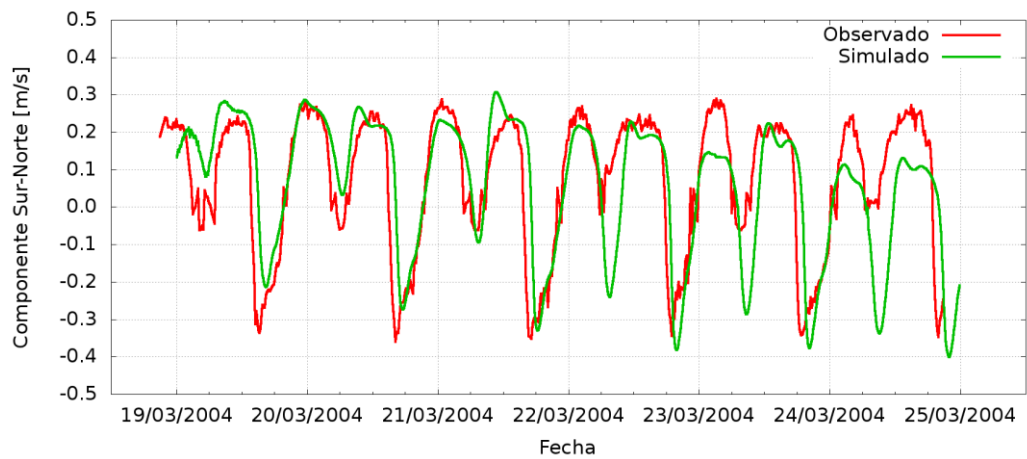


Figura 5.4.Ubicación de puntos de medición de velocidades.

En la Figura 5.5 y la Figura 5.6 se muestran las comparaciones entre las series temporales de las dos componentes de la velocidad de la corriente para las estaciones Palermo y Bernal, respectivamente. Se observa un acuerdo general satisfactorio. La Figura 5.7 presenta la comparación entre las rosas de corrientes para el mismo intervalo de tiempo. Se observa que existe compatibilidad general en cuanto a la dirección principal de movimiento y la magnitud de los picos de corriente en ambos sentidos. La leve diferencia de dirección que se observa para la estación Palermo, la más cercana a la costa, es un efecto de la representación discreta del contorno costero.

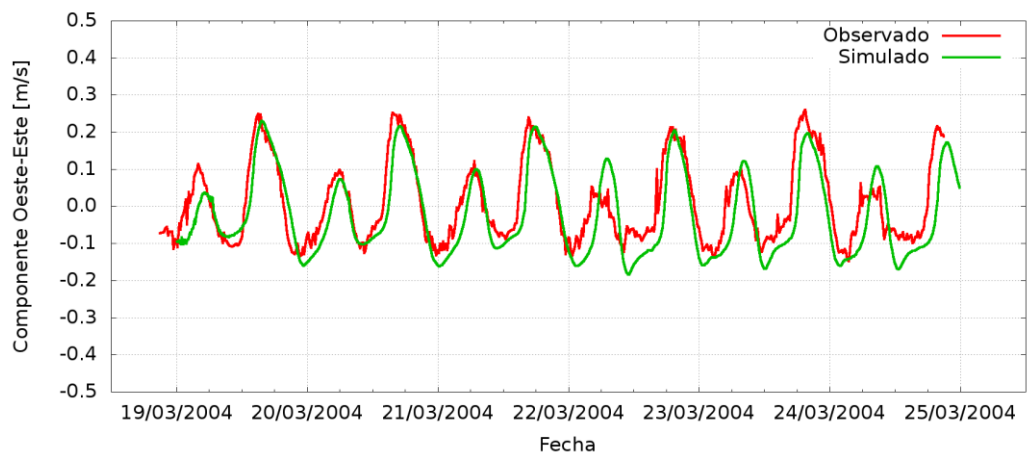


a) Componente Oeste-Este

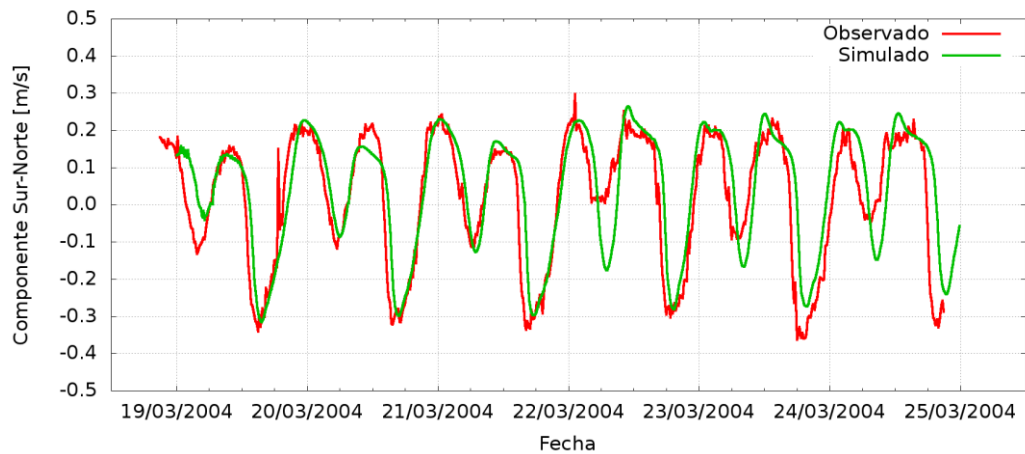


b) Componente Sur-Norte

Figura 5.5. Comparación de velocidades medidas y calculadas en estación Palermo.

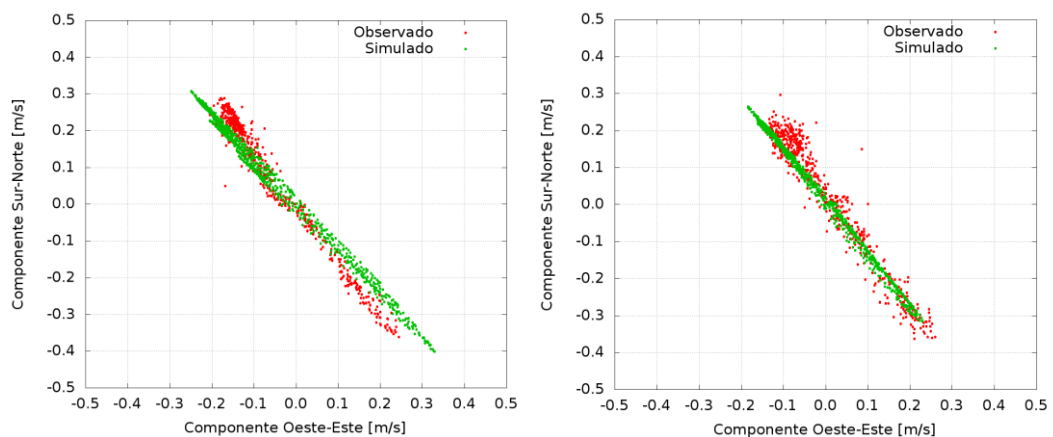


a) Componente Oeste-Este



b) Componente Sur-Norte

Figura 5.6. Comparación de velocidades medidas y calculadas en estación Bernal.



a) Palermo

b) Bernal

Figura 5.7. Comparación de rosas de corrientes medidas y calculadas.

5.3.2 Condiciones extremas

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. La Sudestada genera una onda de tormenta que penetra en el Río de la Plata, incrementando su nivel, efecto que además se potencia por la propia acción local del viento, alineado con el eje del río.

Por su parte, los eventos de bajante se registran a raíz de la persistencia de vientos fuertes de los sectores NNE, N y NNO sobre el Río de la Plata.

Para validar la modelación en estas condiciones extremas se dispuso de mediciones del nivel del agua en Buenos Aires, provistos por el Servicio de Hidrografía Naval, para cada uno de los siguientes dos eventos: bajante de Noviembre 2002 (9 al 11 de noviembre) y Sudestada de Mayo 2000 (14 al 19 de mayo). Se utilizaron datos de vientos de NCEP/NCAR, debidamente corregidos para representar su valor en la superficie del agua. La Figura 5.8 y la Figura 5.9 muestran las comparaciones de la Sudestada y la bajante, respectivamente, observándose un acuerdo satisfactorio.

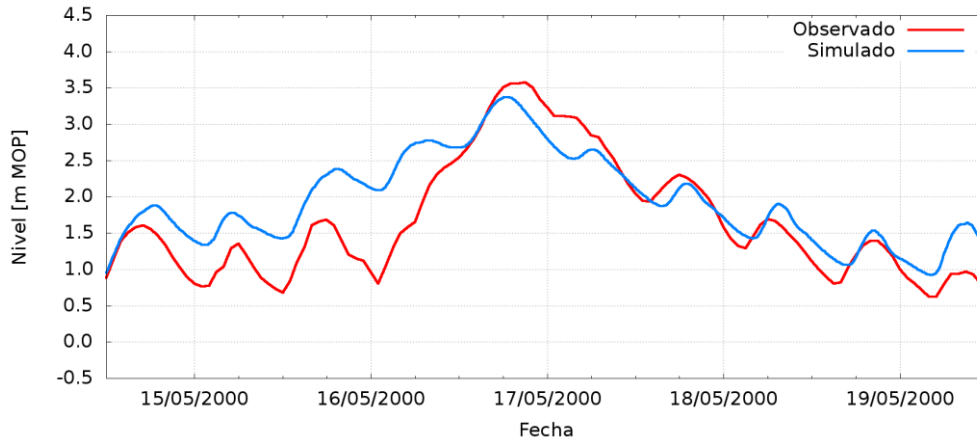


Figura 5.8. Comparación de niveles en Buenos Aires. Sudestada de Mayo 2000.

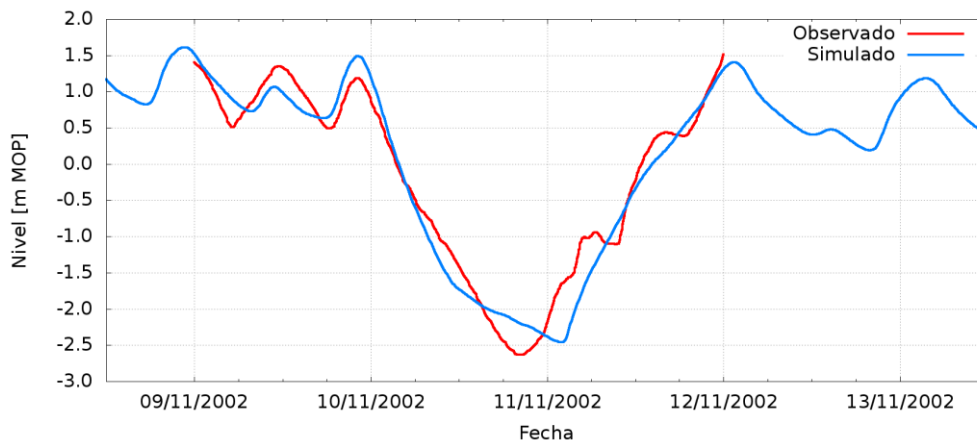


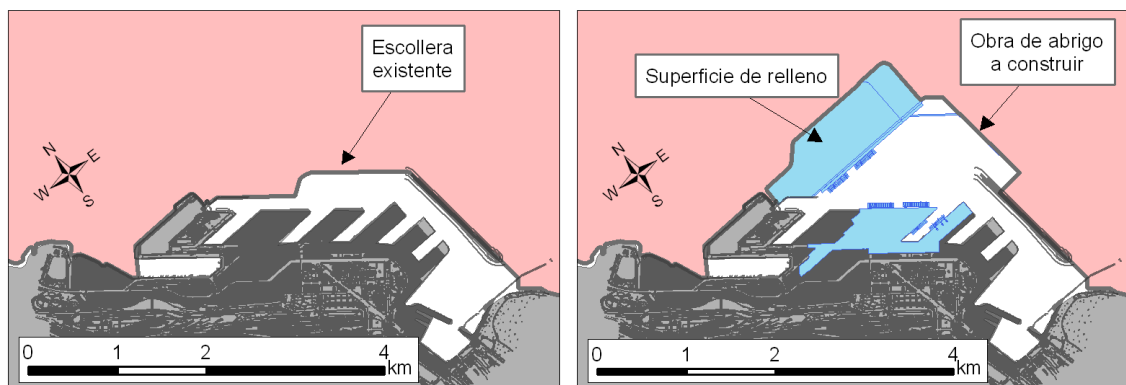
Figura 5.9. Comparación de niveles en Buenos Aires. Bajante de Noviembre 2002.

5.4 Aplicación del modelo

5.4.1 Escenarios

Se modelaron dos escenarios de configuración del puerto, a saber (Figura 5.10):

- a) **Escenario CA:** Representa la configuración actual del puerto.
- b) **Escenario CP:** Corresponde a una situación representativa de la configuración final de proyecto, con los rellenos afectando una superficie aproximada de 1040 m², y la construcción de una nueva obra de abrigo de aproximadamente 1400 m.



a) Escenario CA

b) Escenario CP

Figura 5.10. Escenarios de configuración del puerto.

5.4.2 Indicadores de impacto hidráulico

Se construyeron tres indicadores de impacto hidráulico, basados en la comparación de los resultados del modelo para el escenario CP con los del escenario CA. Estos indicadores son los siguientes:

- I. Módulo de la diferencia de velocidades para los instantes de máxima velocidad en creciente y máxima velocidad en bajante (que son los instantes de máximo impacto del cambio de configuración), 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.
- II. Diferencia del módulo de las velocidades para los instantes de máxima velocidad en creciente y máxima velocidad en bajante, que es un indicador del cambio de intensidad de la velocidad. Este indicador también es relevante para analizar afectación a la navegación.
- III. Diferencia entre el valor medio del factor de Krone para un ciclo de mareas, que es un indicador del cambio en la tasa de sedimentación.

El factor de Krone se calcula como⁷:

$$T_d = \begin{cases} 1 - \left(\frac{u_*}{u_{*cr,d}} \right)^2 & \text{si } u_* < u_{*cr,d} \\ 0 & \text{si } u_* \geq u_{*cr,d} \end{cases}$$

donde u_* es la velocidad de corte, y $u_{*cr,d}$ su valor crítico de deposición. Nótese que $0 \leq T_d \leq 1$; un valor de T_d cercano a 0 significa escasa sedimentación, mientras que un valor cercano a 1 indica sedimentación cercana a la máxima tasa potencial. A partir de estudios antecedentes⁸ se ha establecido para esta zona un valor $u_{*cr,d} = 0,8$ cm/s. El factor de Krone afecta la tasa máxima potencial de sedimentación, que es el producto de la concentración de sedimento en suspensión y la velocidad de caída correspondiente a su diámetro medio, y constituye la parte de la tasa de sedimentación más directamente afectada por la hidrodinámica.

5.5 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 5.11 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 Mitre y el Canal de Acceso Sur.

Para el indicador de cambio del módulo de la velocidad (Figura 5.12), 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

⁷van Rijn, L.C., 1993, Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas, Aqua Publ.

⁸Menéndez, A.N., Castellano, R., 2000. Simulation of sedimentation in an estuary due to an artificial island, 4th International Conference Hydroinformatics 2000, Cedar Rapids, Iowa, USA, July.

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 5.2.

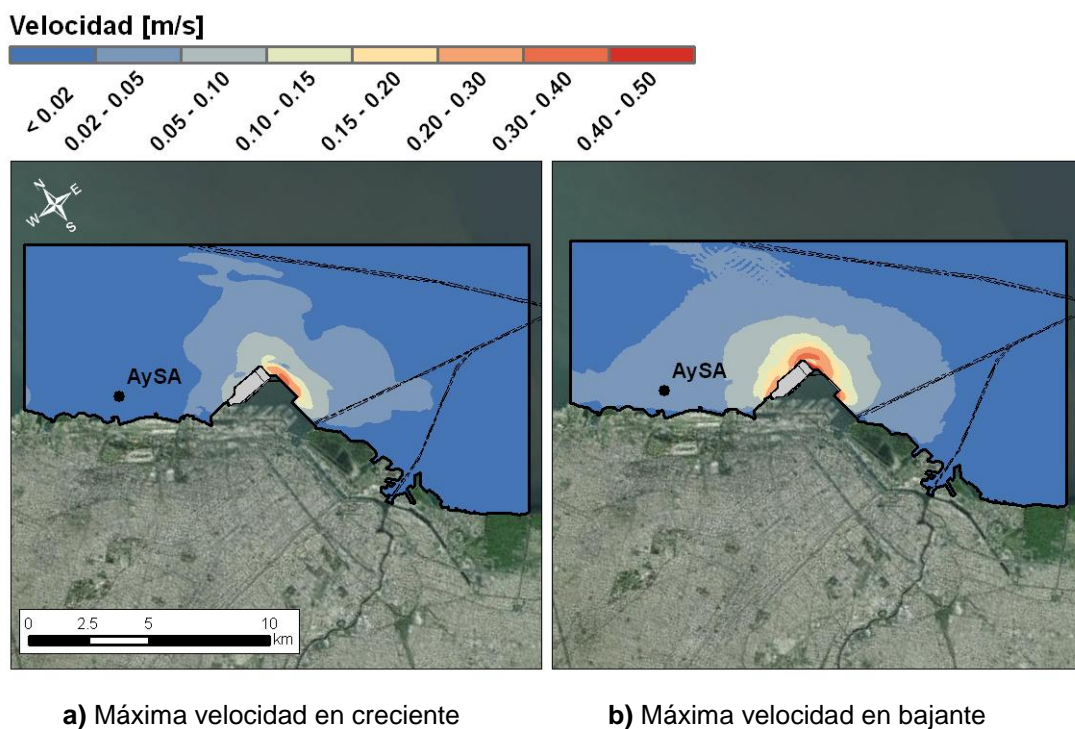


Figura 5.11. Indicador de cambio de velocidad. Condiciones normales.

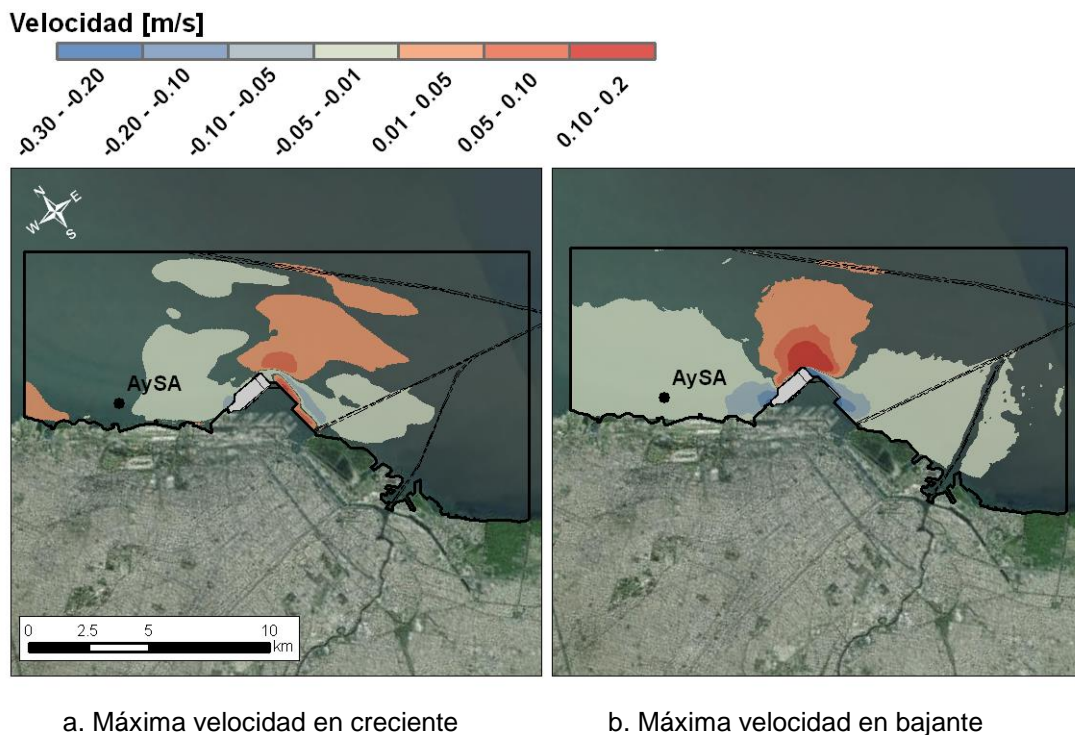


Figura 5.12. Indicador de cambio de módulo de la velocidad. Condiciones normales.

Tabla 5.2. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Condiciones normales. Valor umbral +/- 5 cm/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 5.13) 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 5.3 se resumen las extensiones de impacto de los dos lóbulos de aumento de sedimentación, tomando como umbral un valor de 0,1.

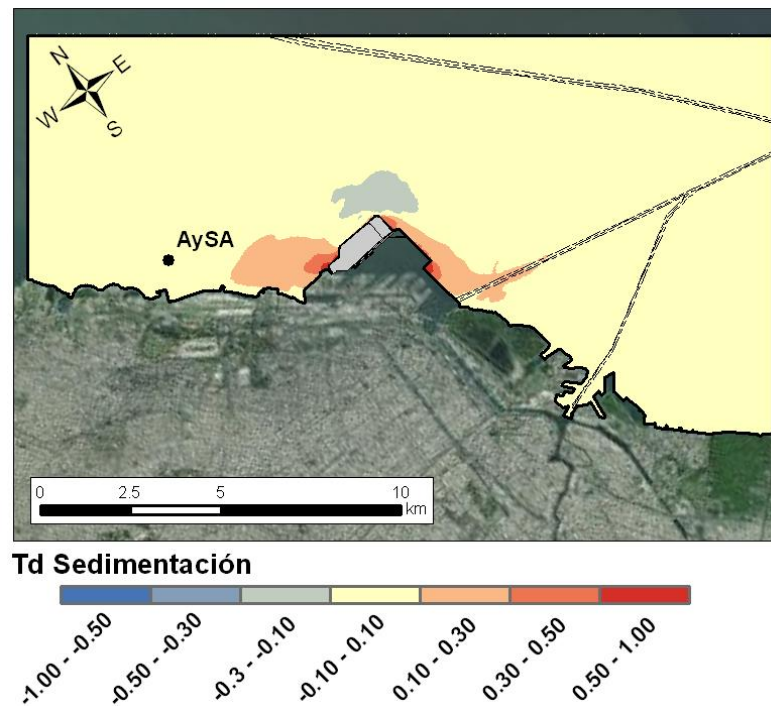


Figura 5.13. Indicador de cambio de tasa de sedimentación. Condiciones normales.

Tabla 5.3. 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

5.6 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 5.14 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 5.11), 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 tramo de 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.

El indicador de cambio del módulo de la velocidad (Figura 5.15) 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 5.4 se indican las extensiones máximas de cada uno de los lóbulos en creciente y en bajante.

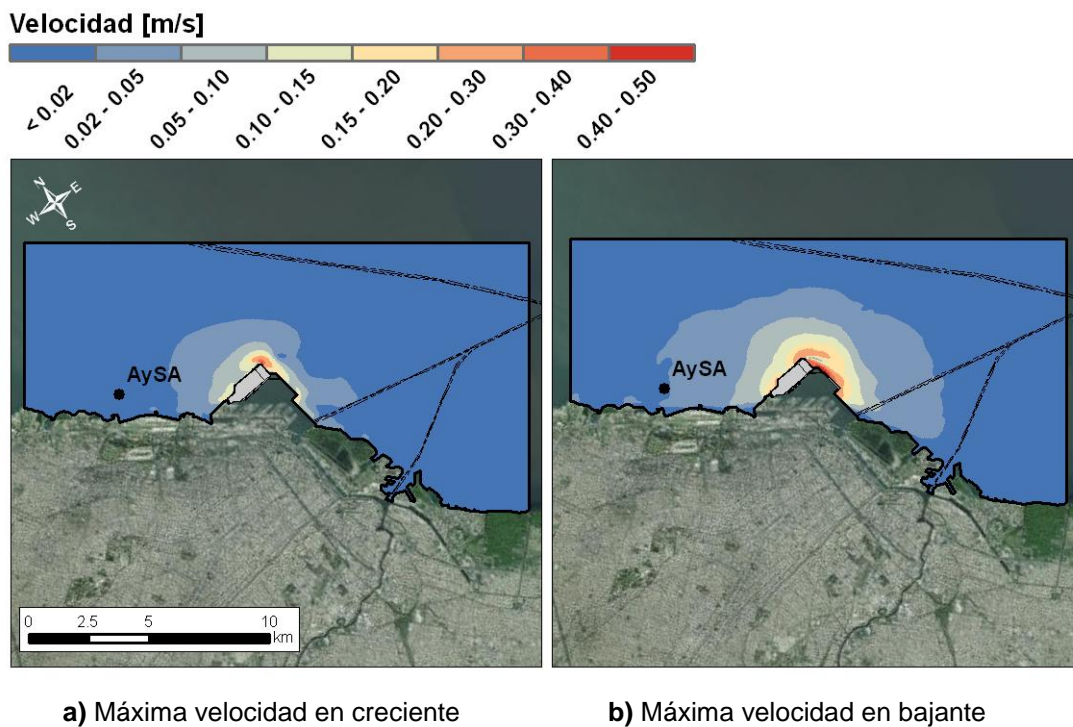


Figura 5.14. Indicador de cambio de velocidad. Condición de sudestada.

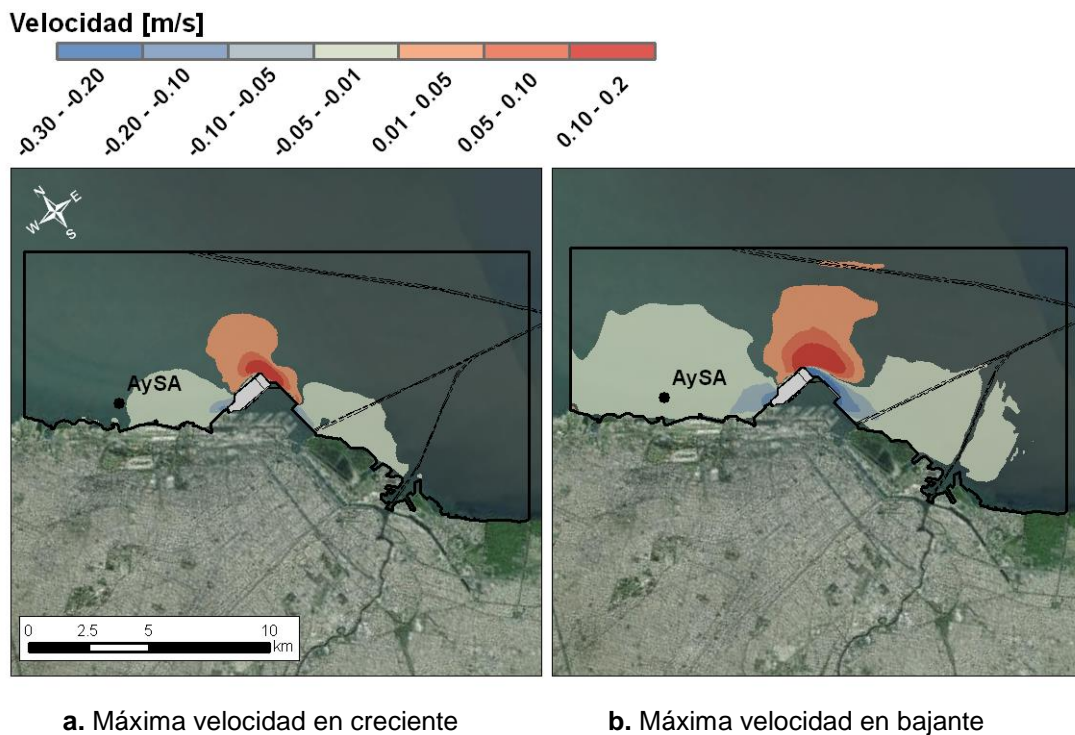


Figura 5.15. Indicador de cambio del módulo de la velocidad. Condición de sudestada.

Tabla 5.4. 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 5.16) 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 5.5 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.

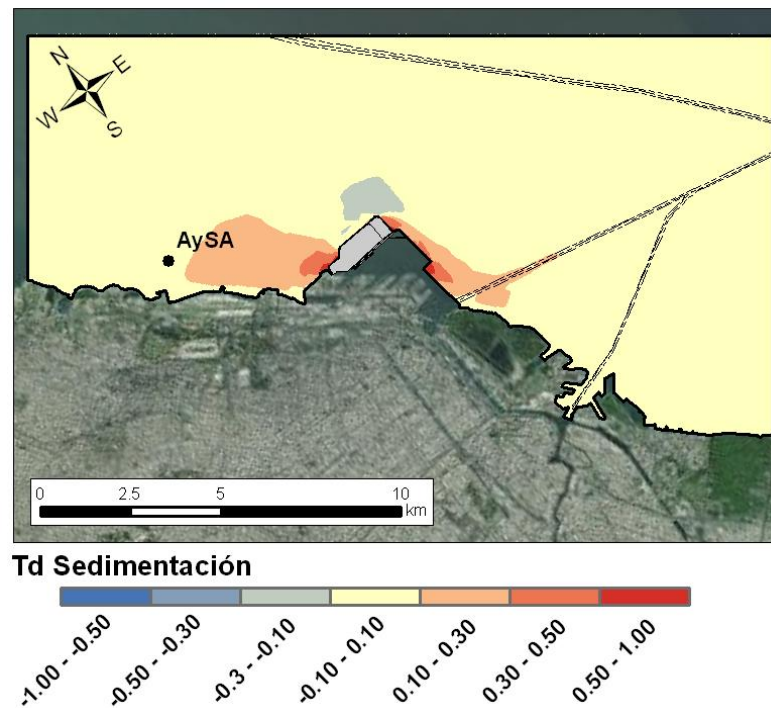


Figura 5.16. Indicador de cambio de tasa de sedimentación. Condición de sudestada.

Tabla 5.5. 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

5.7 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 de noviembre del 2002 (9 al 11 de noviembre).

La Figura 5.17 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 5.11). 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.

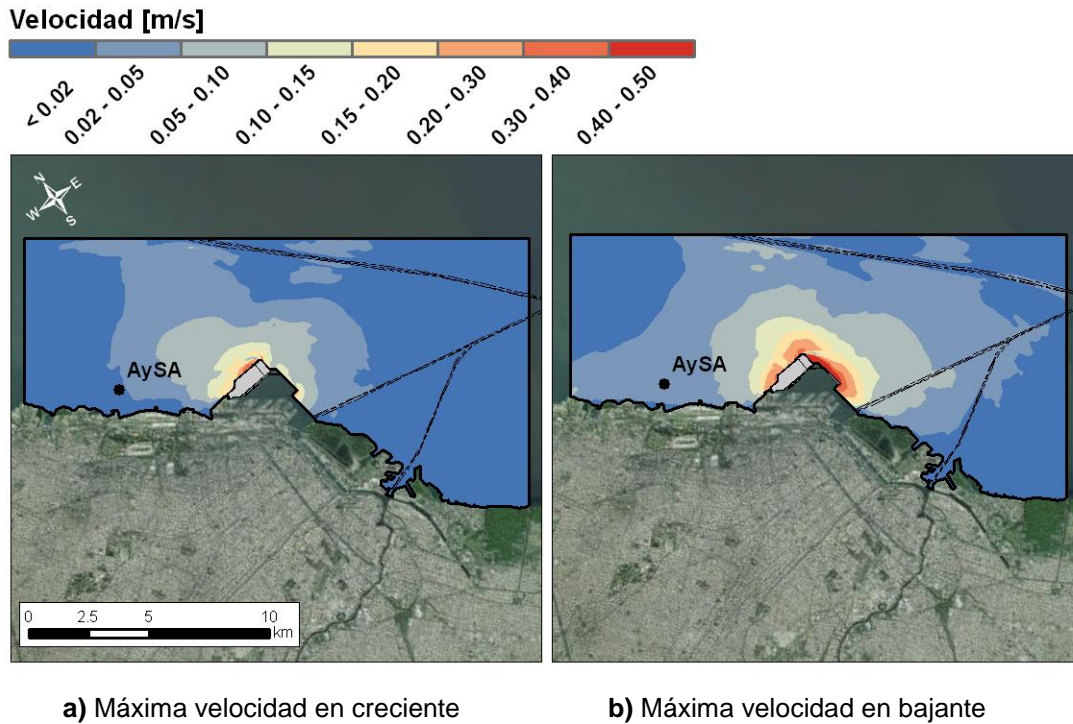


Figura 5.17. Indicador de cambio de velocidad. Condición de bajante extraordinaria.

El indicador de cambio del módulo de la velocidad (Figura 5.18) 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 5.6 se indican las extensiones máximas de cada uno de los lóbulos en las fases de bajante y creciente.

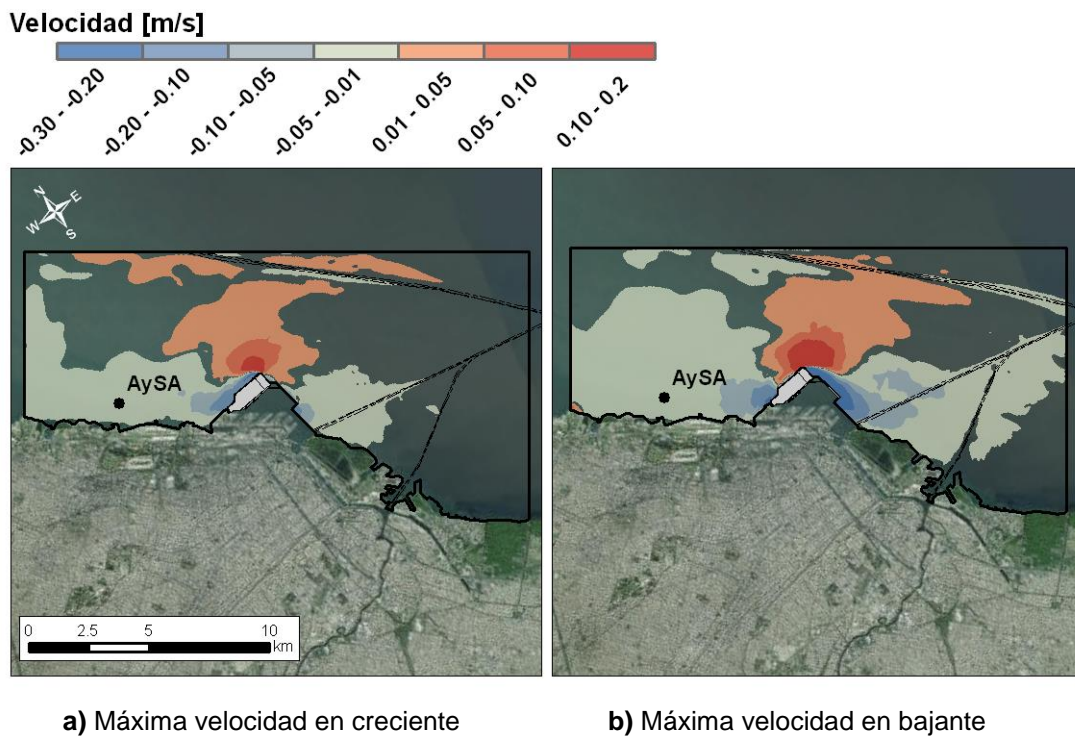


Figura 5.18. Indicador de cambio del módulo de la velocidad. Condición de bajante extraordinaria.

Tabla 5.6. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Condición de bajante extraordinaria. Valor umbral +/- 5 cm/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
Crecente	1.100	730	900	900	2.400	1.700

El indicador de sedimentación (Figura 5.19) 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 5.7 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.

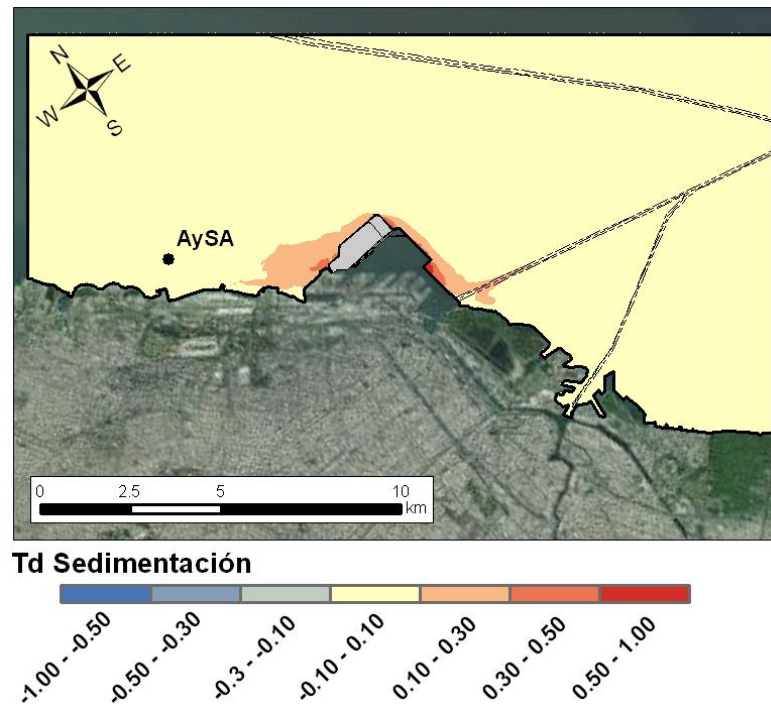


Figura 5.19. Indicador de cambio de tasa de sedimentación. Condición de bajante.

Tabla 5.7. 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

5.8 Comparación de resultados

La Tabla 5.8 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 5.8. 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 5.9 y Tabla 5.10 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 5.9. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Máxima velocidad de creciente. Valor umbral +/- 5 cm/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 5.10. Extensión de la zona de impacto. Cambio de módulo de velocidad. Máxima velocidad de bajante. Valor umbral +/- 5 cm/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 5.11 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 5.11. 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

5.9 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/mes⁹, 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/día¹⁰, 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.

⁹ Fossati, 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

¹⁰ Gomez 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

6 HIDRODINÁMICA DEL PUERTO

6.1 Consideraciones generales

La ampliación del puerto producirá cambios en las condiciones hidrodinámicas en el interior del puerto. En este capítulo se generan indicadores de ese impacto, obtenidos a partir de una modelación hidrodinámica local.

6.2 Metodología de modelación hidrodinámica local

Para la simulación de la hidrodinámica 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 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 refinamiento¹¹.

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 modelos de cierre de turbulencia ($k-l$, $k-\epsilon$, 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.

¹¹ Paolo Gyssels, C. Marcelo Baldissone, 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.

6.3 Dominio de modelación

Se plantea un modelo del puerto interior para cuantificar los cambios hidrodinámicos debido a un cambio en la geometría del puerto. El dominio de modelación se presenta en la Figura 6.1, donde se distinguen tres bordes abiertos: Norte, Este y Sur. El dominio se extiende paralelo a la margen sobre una distancia de 6,3 km, con el borde Este a aproximadamente 2,5 km de la costa.

Se utiliza una malla regular con un tamaño medio de elementos de 10 m, pero con mayor densidad en la zona del puerto.

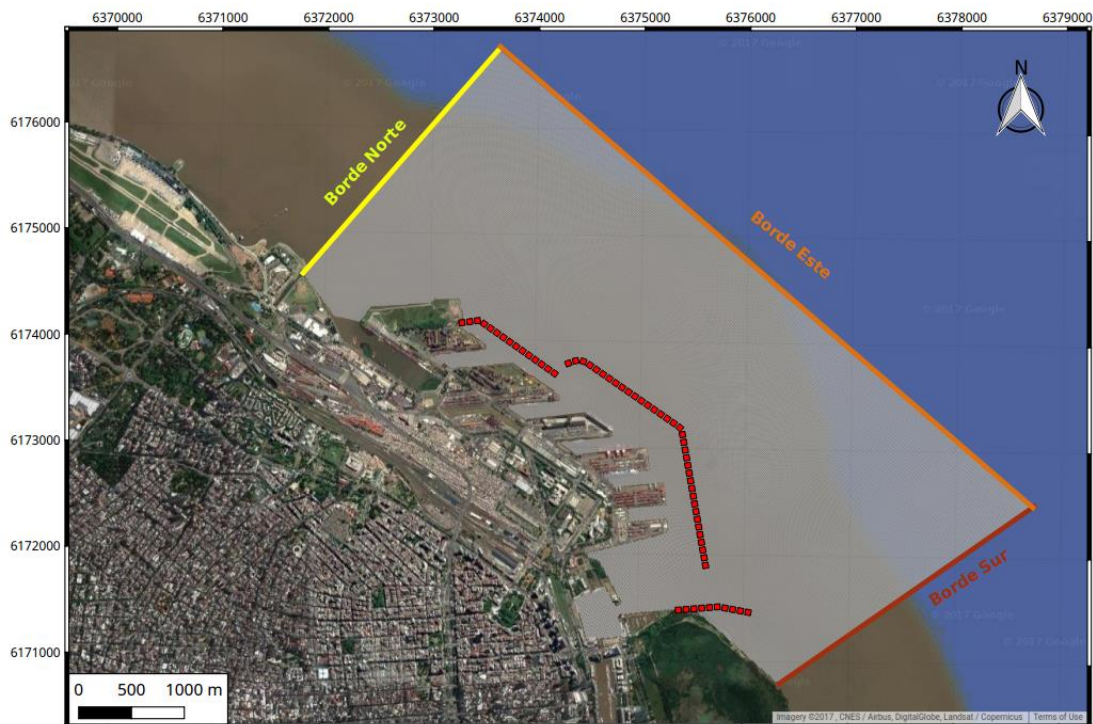


Figura 6.1. Dominio de modelación.

6.4 Condiciones de borde

Se utilizó como condición de borde una onda de marea representativa de condiciones normales del Río de la Plata. Para eso se tomó la serie registrada en Palermo en el mes de marzo de 2004.

En los bordes Sur y Norte se impuso la misma serie de niveles, pero desfasada en 15 minutos, que corresponde al traslado de la onda de marea a lo largo de los 6,3 km de longitud del modelo con una celeridad asociada a una profundidad media (en la zona exterior al puerto) de 5 m. El nivel sobre el borde Este resulta de una interpolación lineal entre los bordes extremos.

6.5 Escenario Actual

En primer lugar, se simuló la configuración actual del puerto. Para representar la batimetría se utilizaron los relevamientos batimétricos de junio de 2016 para el interior del recinto, y datos de las Cartas Náuticas para el exterior del puerto. La Figura 6.2 muestra la batimetría referida al cero MOP.

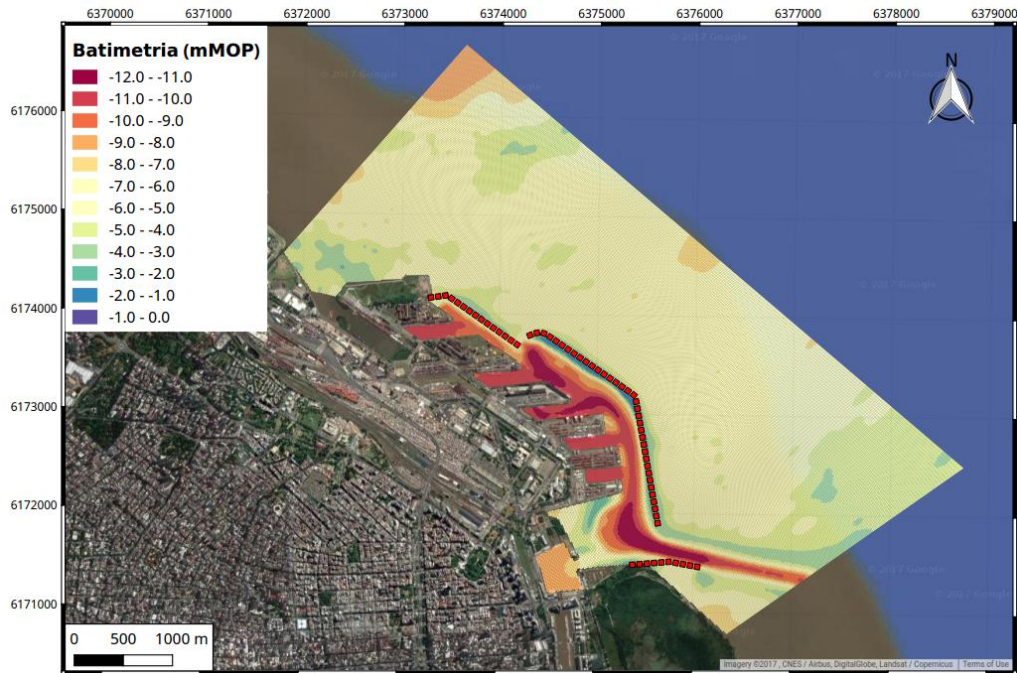


Figura 6.2. Batimetría para la situación actual

La Figura 6.3 presenta la configuración actual de escolleras junto con una configuración de proyecto representativa.

La Figura 6.4 muestra los campos de velocidad para un instante de creciente y uno de bajante para condiciones hidrodinámicas normales. Por su parte, en la Figura 6.5 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.

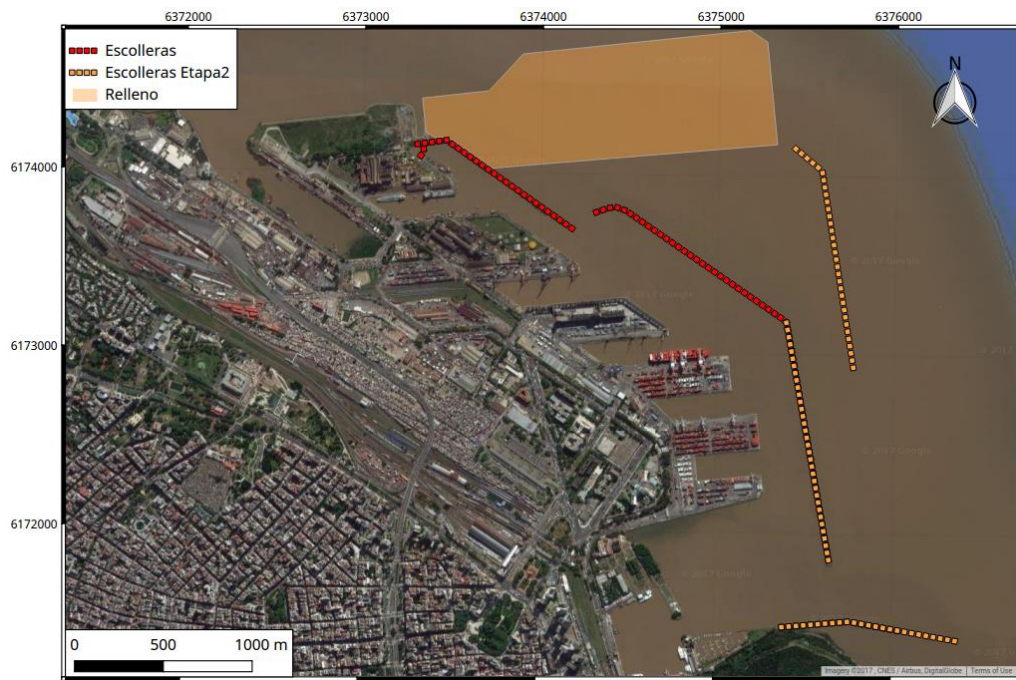
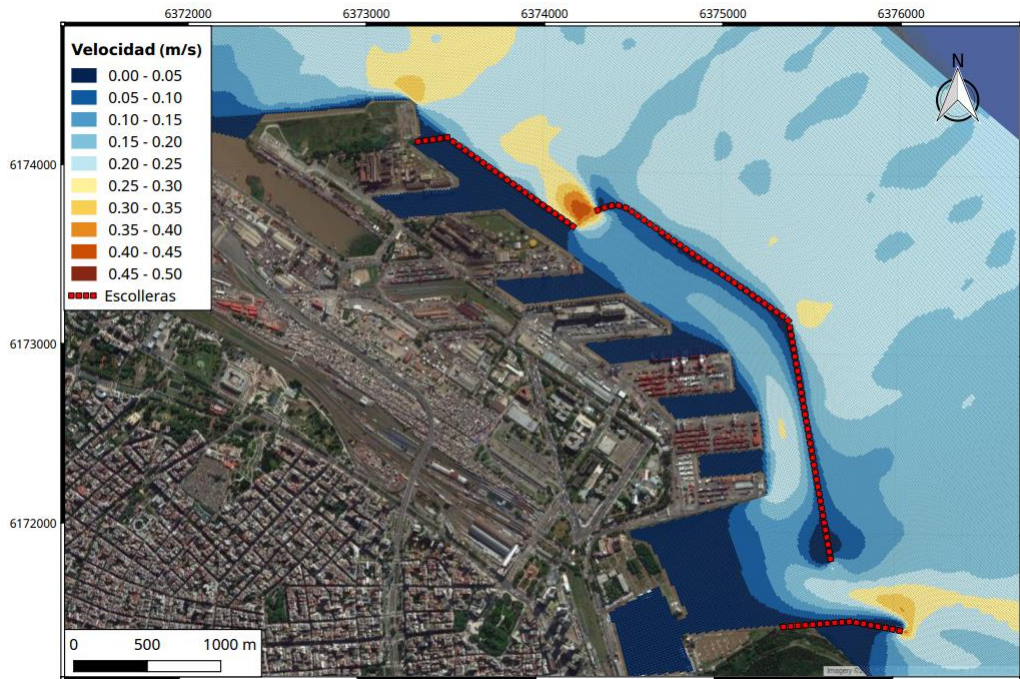


Figura 6.3. Configuración de escolleras actual y futura

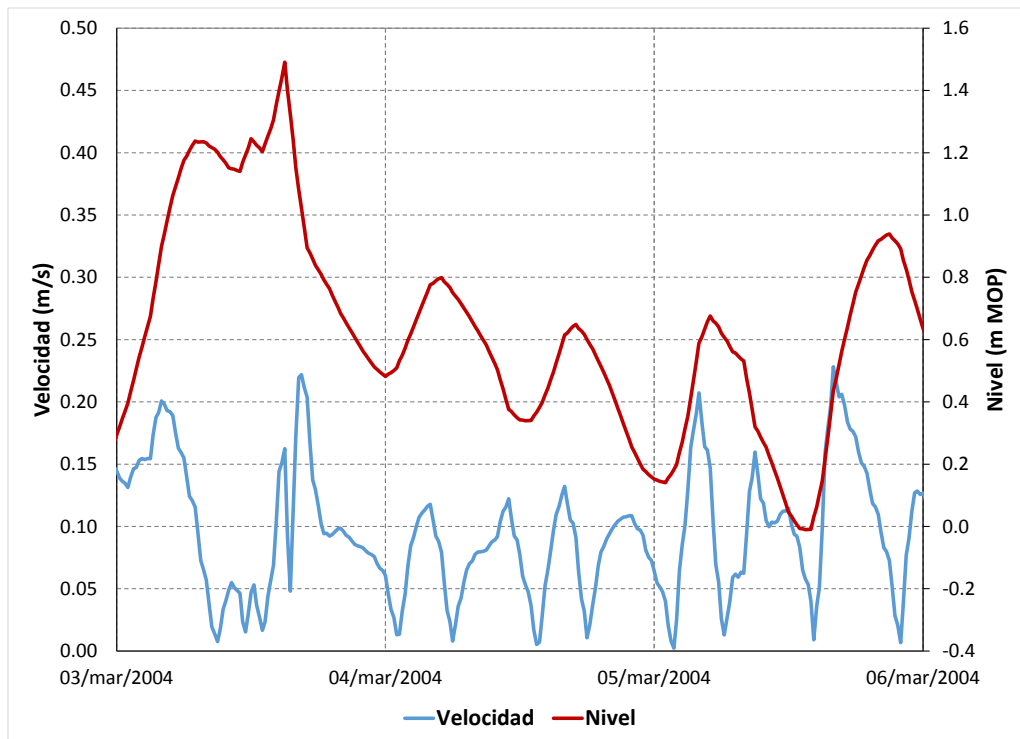


a) Bajante

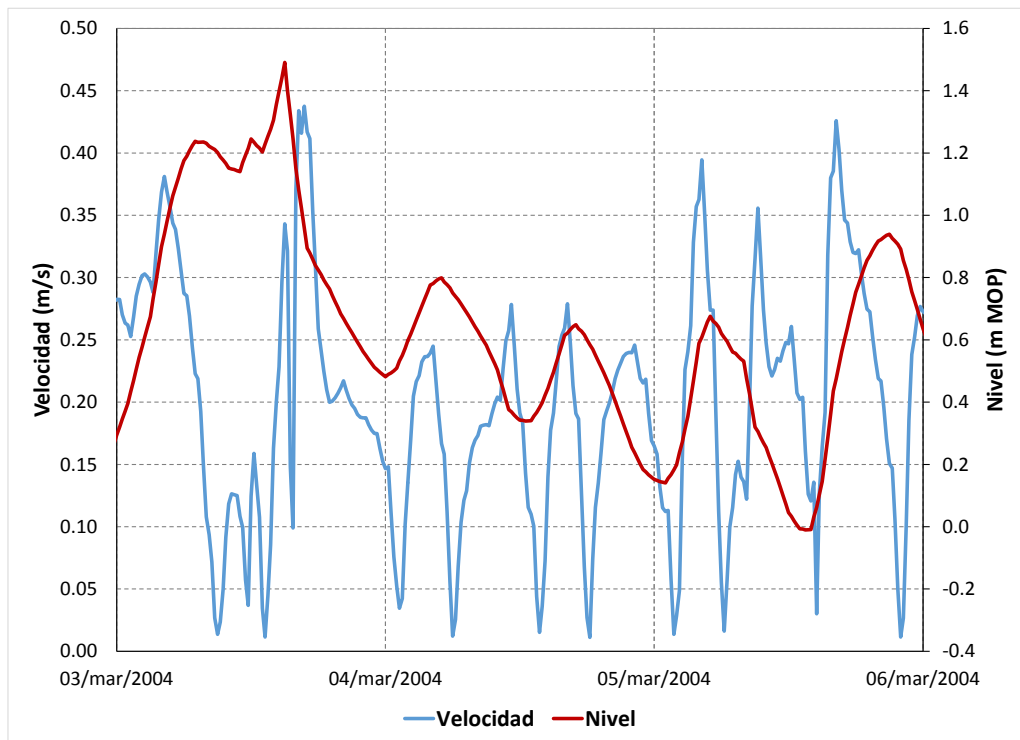


b) Creciente

Figura 6.4. Campos de velocidades para la situación actual.



a) Boca principal



b) Boca falsa

Figura 6.5. Series de velocidad para condición actual y condiciones hidrodinámicas normales.

La Figura 6.6 muestra un detalle de la zona de dársenas, donde se aprecian algunas recirculaciones de relativamente baja intensidad (velocidades menores a 5 cm/s), en las dársenas A, B y C. Las mismas corresponden a un instante de creciente.

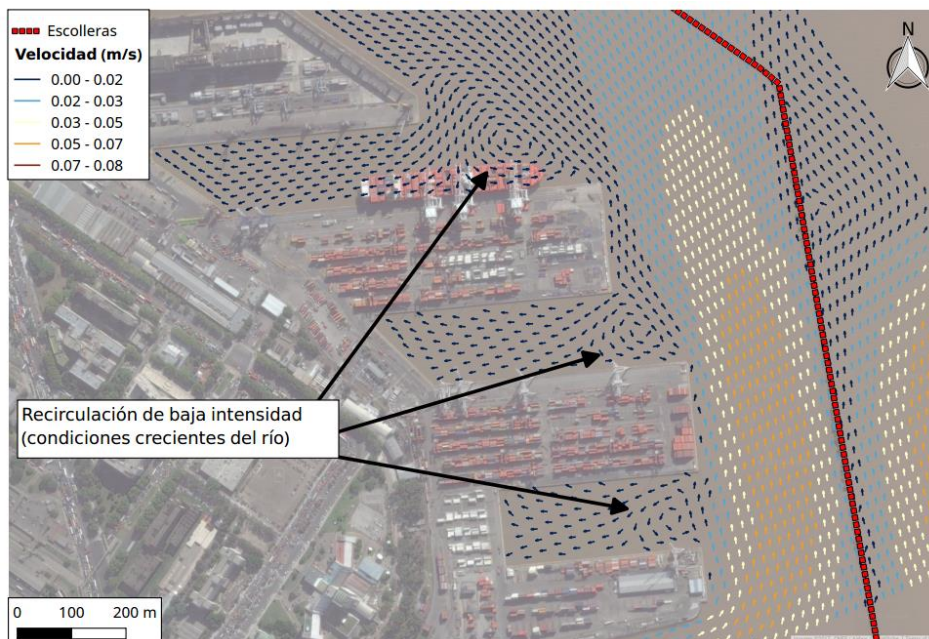


Figura 6.6. Recirculación en dársenas A, B y C

6.6 Configuración futura

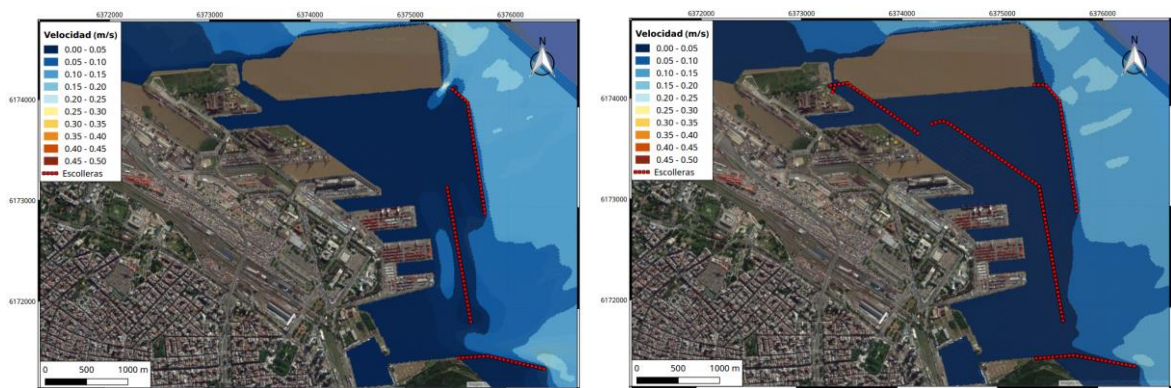
Para la condición futura se realizó la evaluación hidrodinámica de dos escenarios. El primero (Escenario A) corresponde a la configuración de escolleras que fue presentada en la Figura 6.3. Se consideró una profundidad de 10 m respecto del cero MOP. Dicha configuración conserva la ubicación actual de la boca principal, adicionando una boca secundaria, y una boca terciaria de pequeña envergadura al norte de las anteriores, de aproximadamente 50 m de apertura.

El segundo escenario (Escenario B) 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.

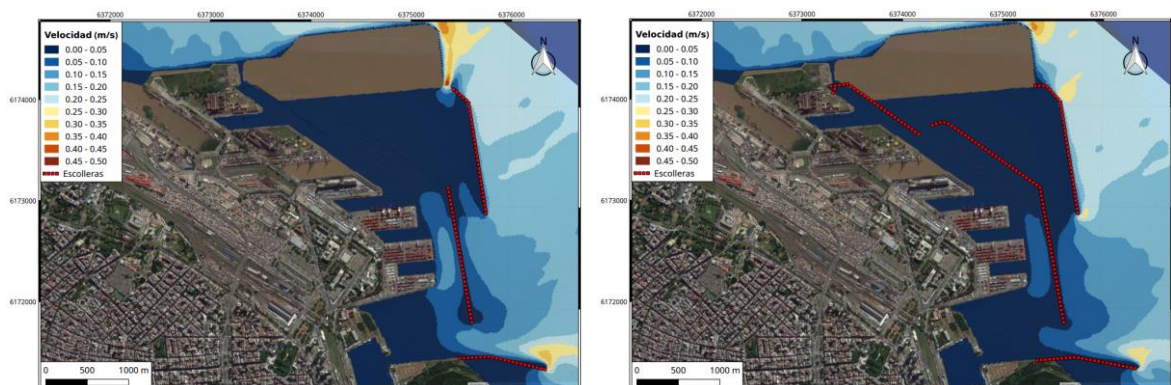
En la Figura 6.7 se presentan resultados para los dos escenarios, para las mismas condiciones de bajante y creciente simuladas en relación al puerto actual. Comparando con la Figura 6.4, se observa una relativamente significativa atenuación de las corrientes.

En la Figura 6.8 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 A, y que la reducción es algo mayor para el Escenario B.

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



a) Bajante. Izq: Escenario A; Der: Escenario B.



b) Creciente. Izq: Escenario A; Der: Escenario B.

Figura 6.7. Campos de velocidades para la situación futura.

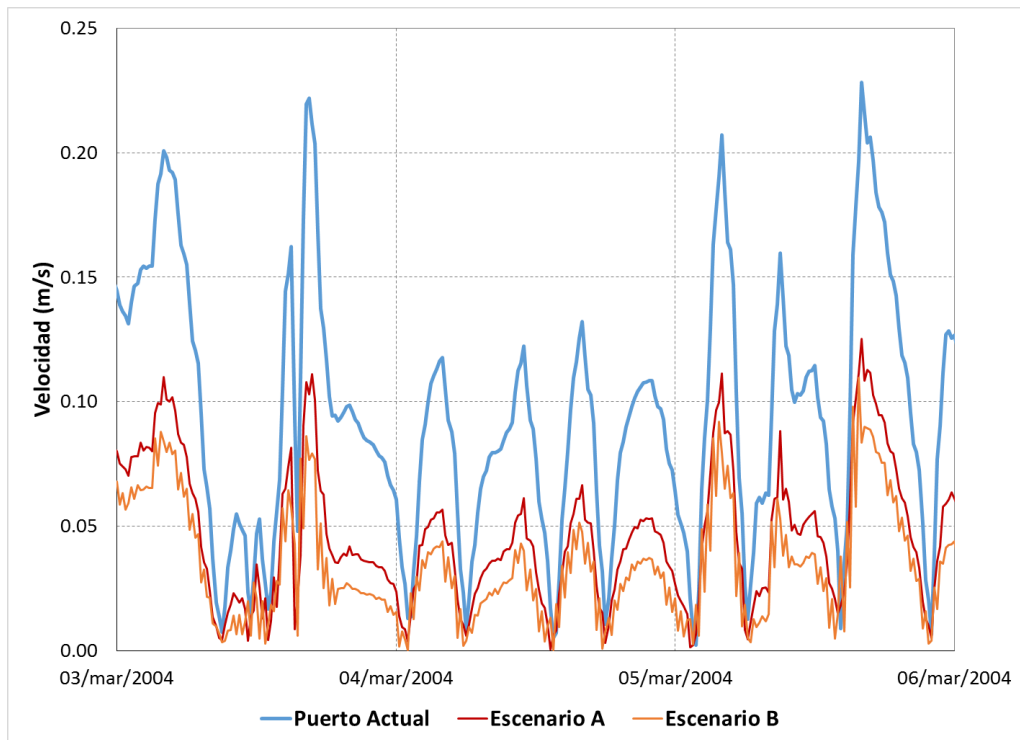


Figura 6.8. Series de velocidad en la boca principal

6.7 Estadística de corrientes

Las mediciones realizadas mediante dos correntómetros ubicados en las instalaciones del Puerto de Buenos Aires fueron analizadas con el propósito de caracterizar el régimen de corrientes generadas por la marea en la zona de estudio. Si bien se trata de registros de corta duración que abarcan el período de tiempo comprendido entre los meses de junio de 2016 y mayo de 2017, el análisis estadístico de esta información constituye un aporte valioso a los fines del proyecto.

La Figura 6.9 muestra la ubicación de los puntos de registro en el entorno del área portuaria. El primer correntómetro se encuentra dentro del recinto, en la zona de cabecera del Espigón 2, mientras que el segundo se ubica en la zona de acceso al puerto (Baliza Verde), muy cerca del Malecón Sur, sobre el canal de navegación. En la misma figura se observa además la posición de un mareógrafo que registra las variaciones del nivel de marea.



Figura 6.9. Ubicación de correntómetros y mareógrafo en el Puerto de Buenos Aires

Los datos utilizados para este análisis fueron suministrados por AGPSE, y consisten en mediciones de la intensidad y dirección de la corriente con una frecuencia de registro de 10 minutos. Se contó además con la información de niveles generada por el mareógrafo señalado.

A modo de ilustración, la Figura 6.10 muestra el registro de intensidades de la corriente obtenido durante 5 días continuos de medición (desde el 28 de julio de 2016 al 2 de agosto de 2016) en ambos correntómetros, junto con la variación de niveles correspondiente a ese mismo intervalo de medición.

Del mismo modo, la Figura 6.11 presenta la variación direccional de las corrientes junto con los niveles de marea para el mismo período de tiempo y la mismas ubicaciones. En este caso, las direcciones indican el rumbo hacia donde se dirige la corriente.

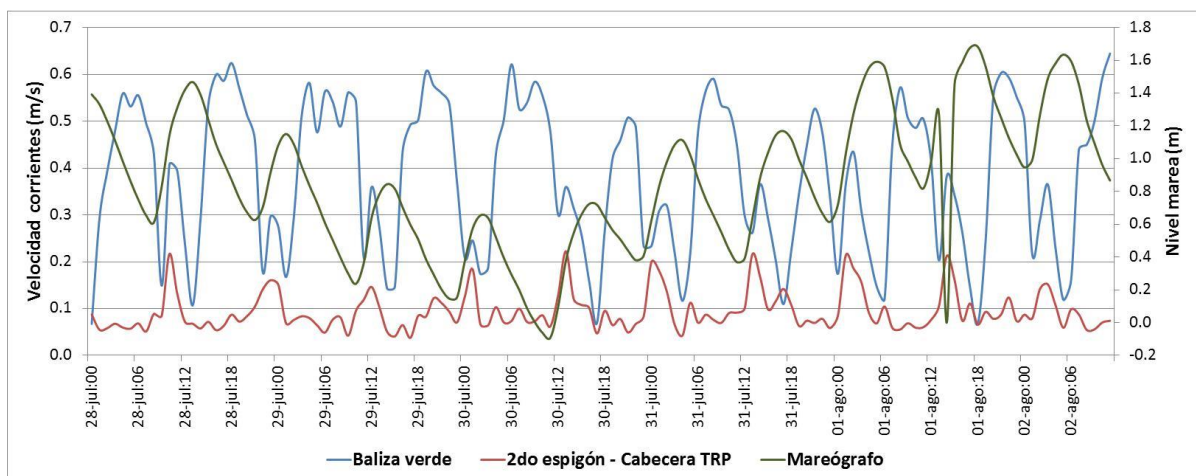


Figura 6.10. Registros de intensidad de la corriente y nivel de marea en el Puerto de Buenos Aires

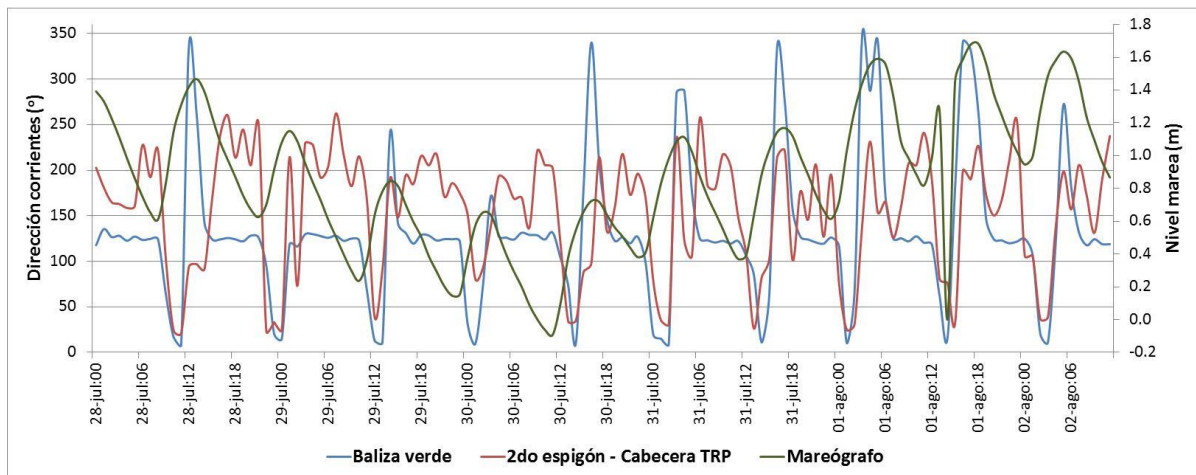


Figura 6.11. Registros de dirección de la corriente y nivel de marea en el Puerto de Buenos Aires

La comparación de estos gráficos muestra claras diferencias entre ambos registros a lo largo de sucesivos ciclos de marea, en los que se alternan condiciones de crecientes y bajantes.

Para el caso del registro de Baliza Verde se observa que las intensidades de la corriente son más elevadas en condiciones de bajante, con valores máximos que se encuentra orden de 0.6 m/s (Figura 6.10) y una dirección bien definida que corresponde a los sectores ESE-SE (Figura 6.11), coincidiendo con la orientación del canal de acceso al puerto. Las corrientes que se dan en condición de creciente resultan de menor intensidad, con valores del orden de 0.4 m/s, y una orientación coincidente con los sectores N-NNE.

El registro correspondiente a la Cabecera del 2do Espigón muestra intensidades de la corriente muy inferiores a las observadas en Baliza Verde, con valores máximos que se dan en condición de creciente y pueden alcanzar a lo sumo los 0.2 m/s. La dirección de la corriente en creciente para esta ubicación coincide en general con el sector N-NNE, pero en condición de bajante se observa una situación más irregular (Figura 6.11), donde no existen patrones de circulación claramente definidos.

De acuerdo con estas observaciones, y dada la ubicación del punto de medición en el 2do Espigón, resulta probable que este registro se encuentre perturbado por la cercanía de estructuras internas del puerto.

Los resultados del análisis estadístico para el registro completo de los datos en ambas ubicaciones se presentan en forma de gráficos y tablas. En primer lugar se muestran los gráficos de rosas de corrientes (Figura 6.12), los cuales integran en un esquema de coordenadas polares información sobre frecuencias de distribución de intensidad de la corriente y sus direcciones.

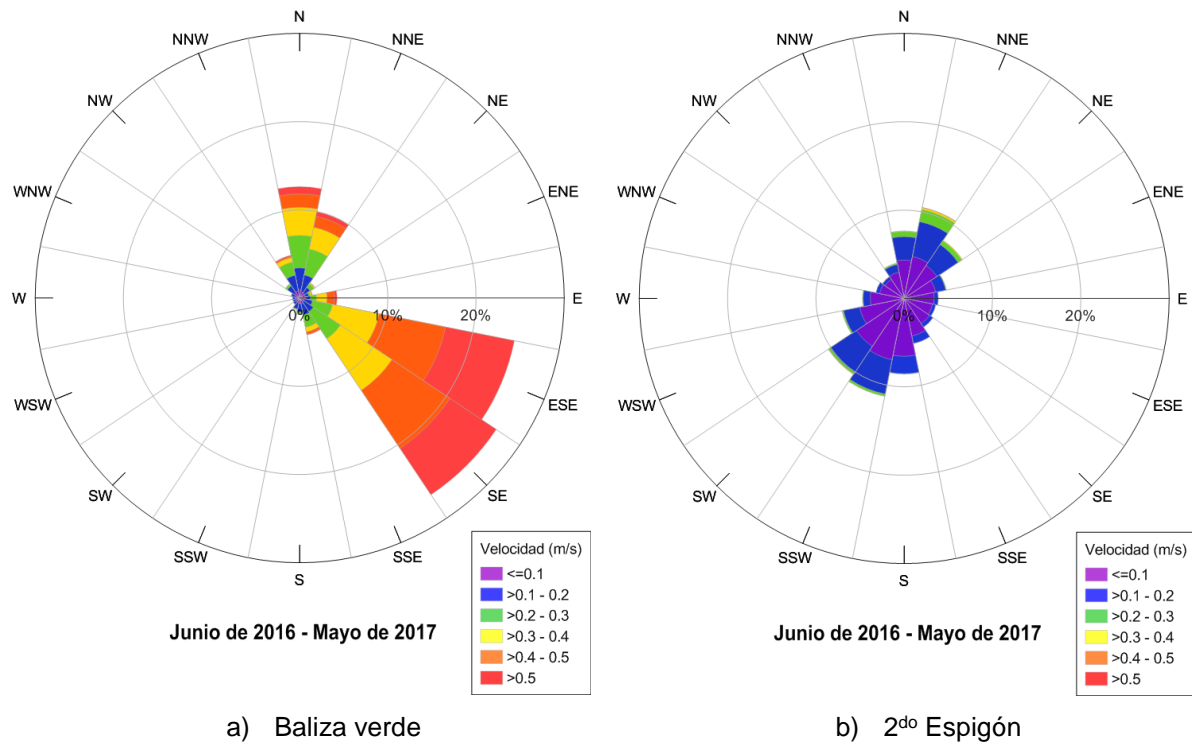


Figura 6.12. Gráficos de rosas de corrientes

El análisis de estos gráficos resulta consistente con las observaciones realizadas sobre los registros de corta duración. La rosa de corrientes correspondiente a Baliza Verde (Figura 6.12a) muestra un claro predominio de las corrientes provenientes de las direcciones SE y ESE (asociadas a la condición de bajante), y un importante aporte de las direcciones N y NNE (asociadas a la situación de crecientes). Se observa además que dentro de los rangos de distribución de intensidades existe un alto porcentaje que corresponde a valores superiores a 0.4 m/s. Contrariamente, la rosa de corrientes correspondiente a 2do Espigón (Figura 6.12b) muestra una distribución de frecuencias direccional con mayor cantidad de sectores asociados a porcentajes elevados y valores de intensidades significativamente más bajos que en el caso anterior.

Este análisis se complementa con la presentación de los histogramas que comparan las distribuciones frecuenciales de la intensidad y la dirección de la corriente para ambos registros. La Figura 6.13 muestra los porcentajes de frecuencia para distintos rangos de intensidad de corriente. En el caso de Baliza Verde se observa que aproximadamente un 40% del total de casos se encuentra entre 0.3 y 0.5 m/s, con valores máximos que podrían alcanzar con muy baja frecuencia hasta 1 m/s. Las intensidades en el registro de 2do Espigón se concentran fuertemente entre 0.1 y 0.2 m/s, con más del 95% de los casos.

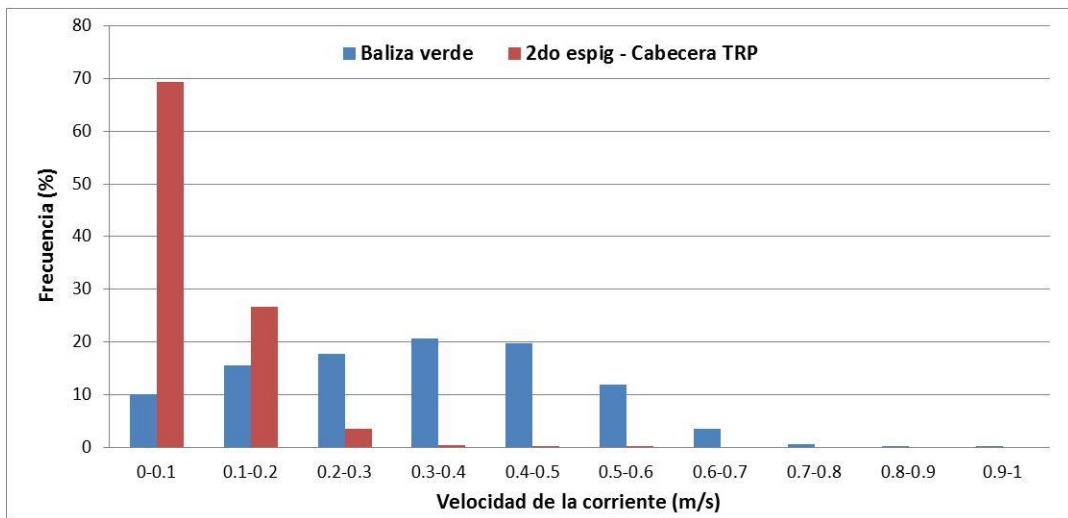


Figura 6.13. Distribución de frecuencias para la intensidad de la corriente (período junio 2016-mayo 2017)

La Figura 6.14 muestra los porcentajes de frecuencia para las distribuciones direccionales de ambos registros. Este gráfico confirma las observaciones realizadas anteriormente, indicando una marcada concentración en las direcciones de creciente y bajante para el caso de Baliza Verde, y una distribución más homogénea para el registro del 2do Espigón.

Finalmente, la Tabla 6.1 y la Tabla 6.2 indican las frecuencias para los valores combinados de intensidad y dirección observados en ambos registros para la totalidad de casos correspondientes al período de tiempo disponible para este análisis (Junio 2016-mayo 2017).

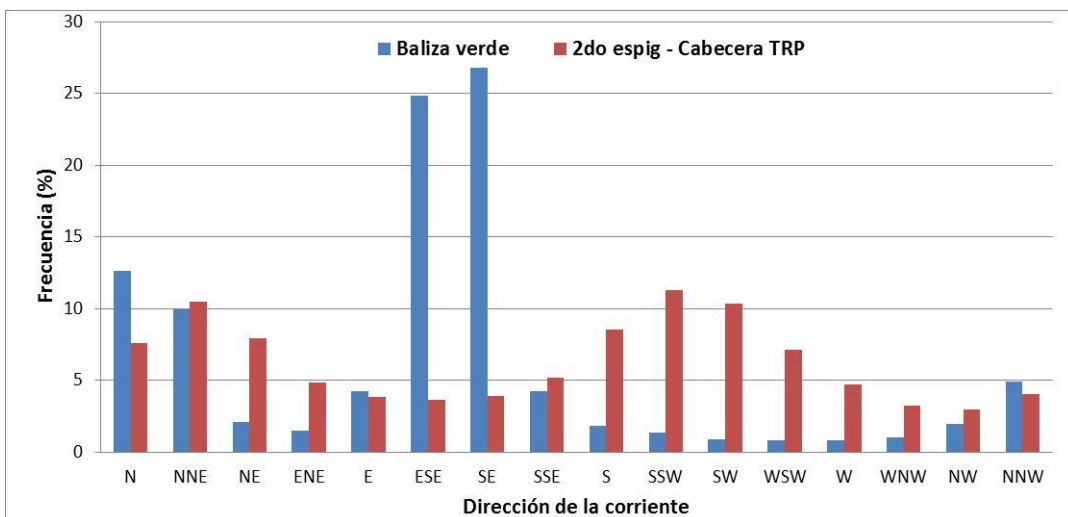


Figura 6.14. Distribución de frecuencias para la dirección de la corriente (período junio 2016-mayo 2017)

Tabla 6.1. Valores porcentuales para la distribución de frecuencias por dirección e intensidad de la corriente para Baliza Verde (período junio 2016-mayo 2017)

Sector	Velocidad (m/s)							
	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	>0.7
N	0.96	2.46	3.68	3.17	1.54	0.56	0.19	0.07
NNE	0.73	1.94	2.98	2.51	1.29	0.42	0.09	0.02
NE	0.66	0.77	0.52	0.12	0.02	0.01	0.00	0.00
ENE	0.64	0.41	0.18	0.16	0.08	0.00	0.00	0.00
E	0.62	0.58	0.70	1.20	0.86	0.24	0.01	0.01
ESE	0.53	0.95	2.33	5.37	7.68	5.67	1.93	0.37
SE	0.55	1.30	3.68	7.04	7.91	4.84	1.27	0.22
SSE	0.66	1.31	1.42	0.53	0.27	0.05	0.02	0.01
S	0.63	0.96	0.23	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
SSW	0.58	0.68	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SW	0.54	0.32	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
WSW	0.50	0.29	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
W	0.52	0.27	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
WNW	0.52	0.45	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NW	0.71	0.97	0.26	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00
NNW	0.80	1.83	1.51	0.53	0.15	0.06	0.02	0.03

Tabla 6.2. Valores porcentuales para la distribución de frecuencias por dirección e intensidad de la corriente para 2^{do} Espigón (período junio 2016-mayo 2017)

Sector	Velocidad (m/s)							
	0-0.1	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.4	0.4-0.5	0.5-0.6	0.6-0.7	>0.7
N	4.34	2.65	0.58	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
NNE	4.83	4.03	1.40	0.21	0.03	0.01	0.00	0.00
NE	4.47	2.85	0.52	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00
ENE	3.63	1.17	0.07	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
E	3.40	0.45	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
ESE	3.28	0.36	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SE	3.45	0.47	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SSE	4.33	0.87	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
S	6.54	1.98	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
SSW	7.06	3.97	0.24	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
SW	6.51	3.54	0.23	0.04	0.00	0.01	0.00	0.00
WSW	5.13	1.87	0.15	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
W	3.83	0.81	0.07	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
WNW	2.84	0.42	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
NW	2.62	0.33	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
NNW	3.03	0.90	0.14	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00

7 SEDIMENTACIÓN

7.1 Consideraciones generales

El cambio en las condiciones hidrodinámicas en el interior del puerto, debido a su ampliación, impactará sobre las tasas y volúmenes de sedimentación y, en consecuencia, sobre el plan de dragado. En este capítulo se generan estimaciones de ese impacto, obtenidas a partir de una modelación hidrodinámica local.

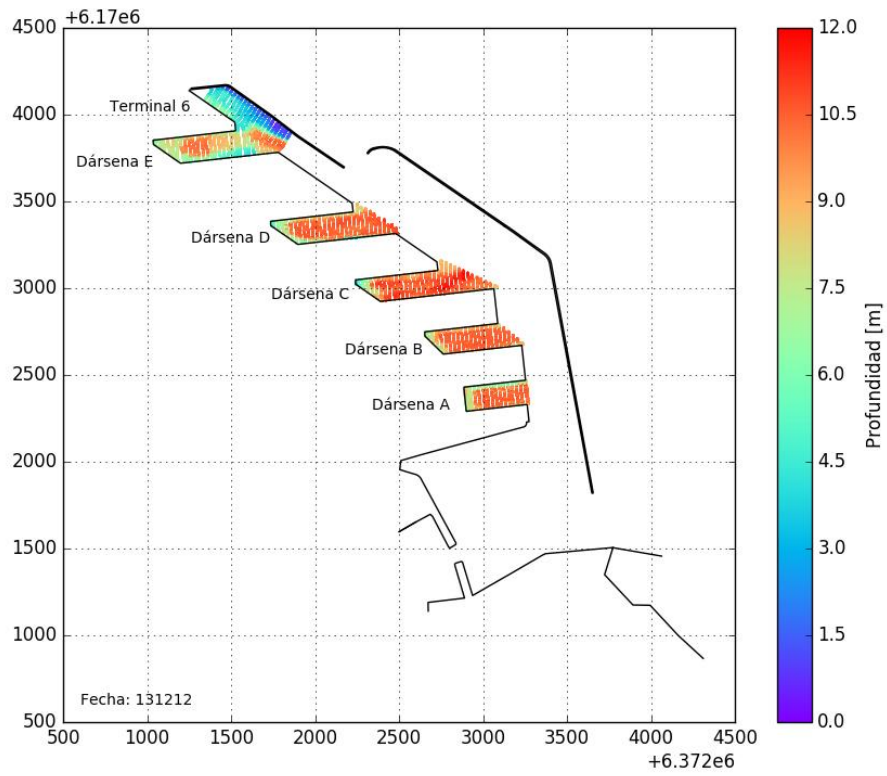
7.2 Datos de base

Se dispuso de información batimétrica y de operaciones de dragado en el Puerto de Buenos Aires suministrada por la AGP.

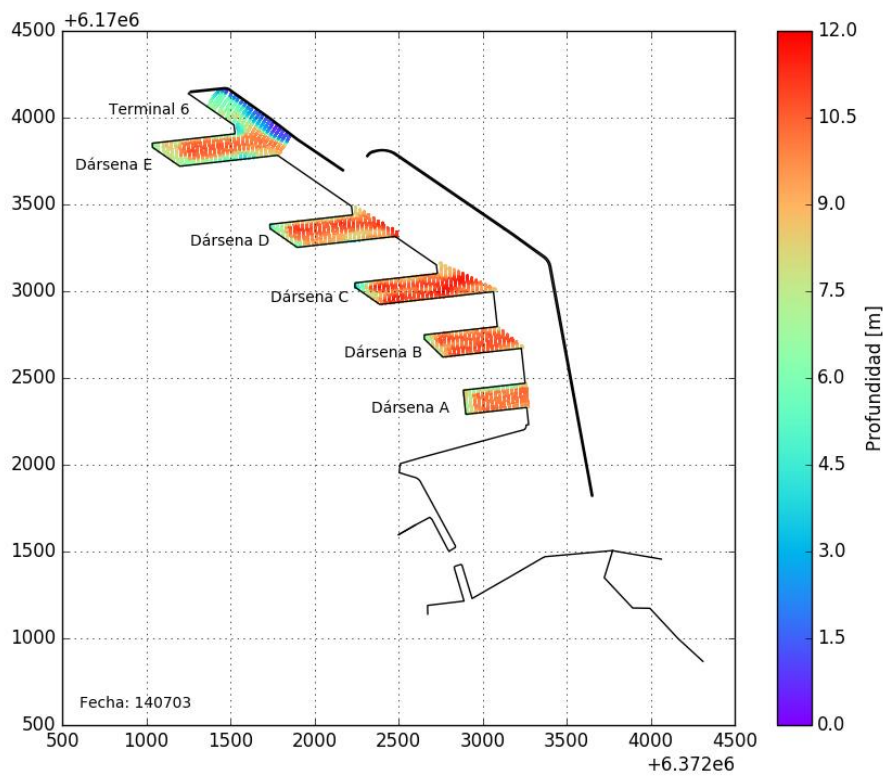
Para el período 2013-2016, se cuenta con datos de 38 relevamientos batimétricos, de los cuales se tomaron 36 por la razón de haber sido ejecutados en la totalidad de las dársenas (A, B, C, D, E y Terminal 6) en un período menor de una semana. En la Tabla 7.1 se indican las fechas de operaciones por año. Por su parte, en la Figura 7.1 se representan algunos de estos relevamientos.

Tabla 7.1. Fechas de relevamientos batimétricos (aammdd)

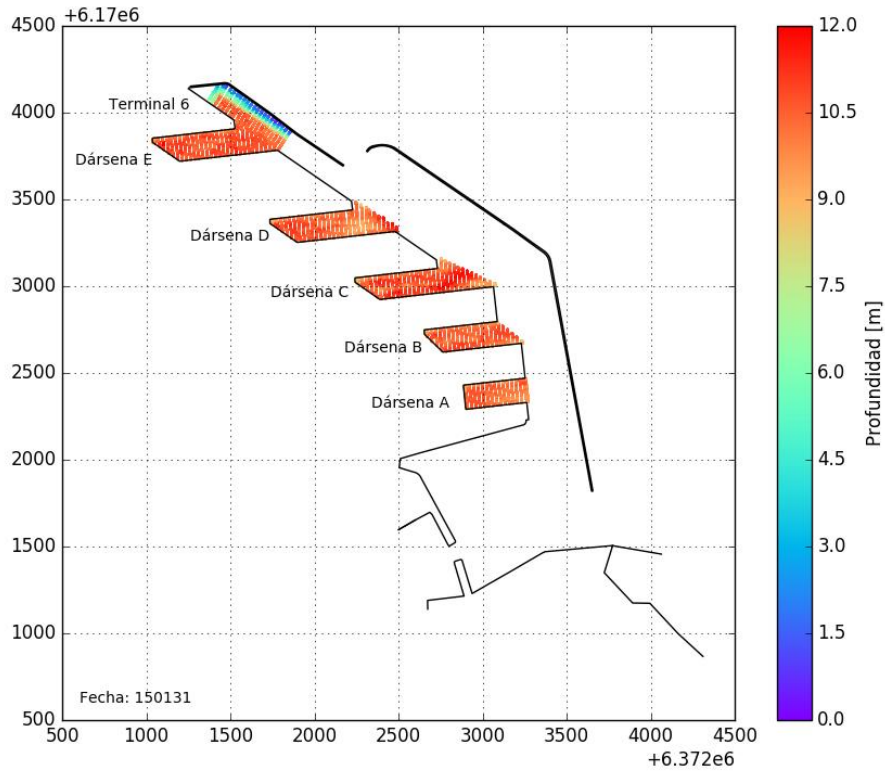
2013	2014	2015	2016
131212	140106	15013	160107
-	140130	150225	160203
-	140403	150330	160305
-	140507	150429	160330
-	140529	150530	160501
-	140703	150628	160601
-	140730	150729	160621
-	140829	150904	160802
-	140930	151001	160901
-	141029	151104	160928
-	141129	151202	161103
-	141224	-	161130



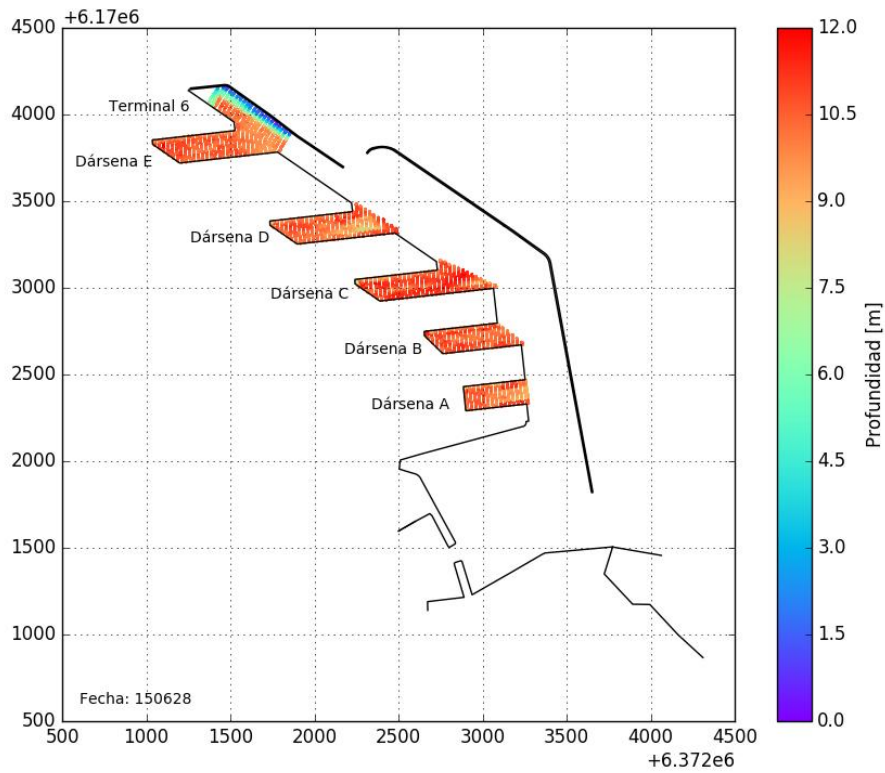
a) Relevamiento 12/Dic/2013.



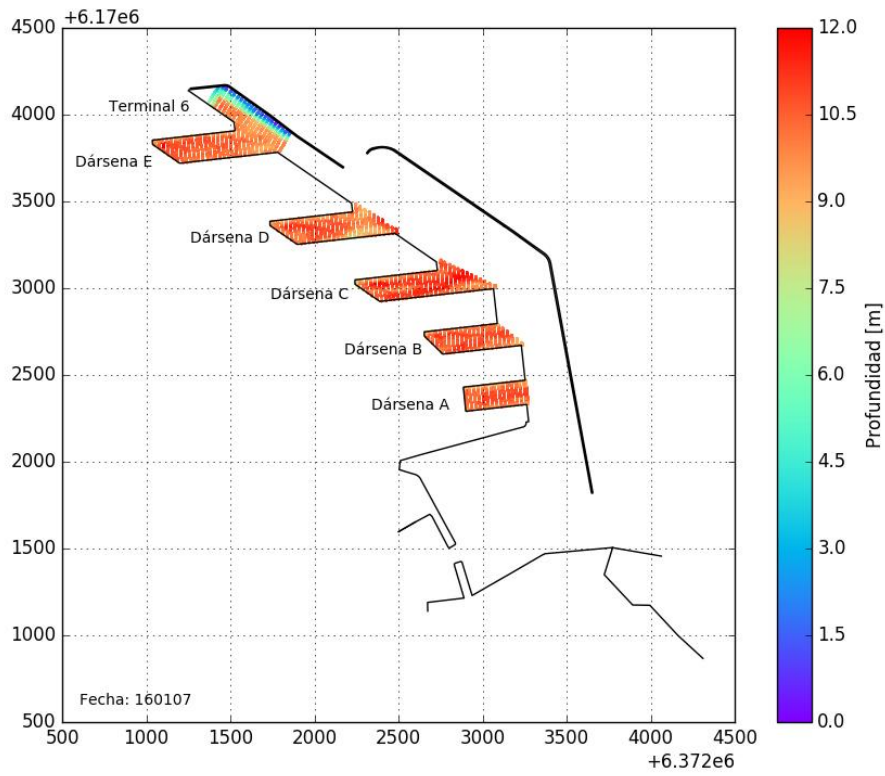
b) Relevamiento 3/Jul/2014.



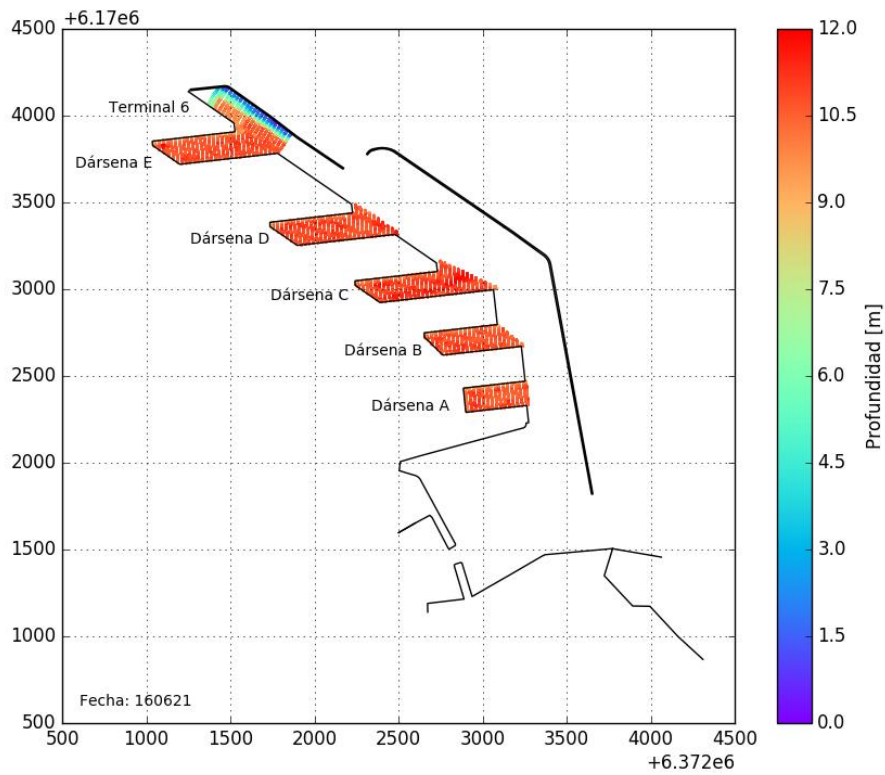
c) Relevamiento 31/Ene/2015.



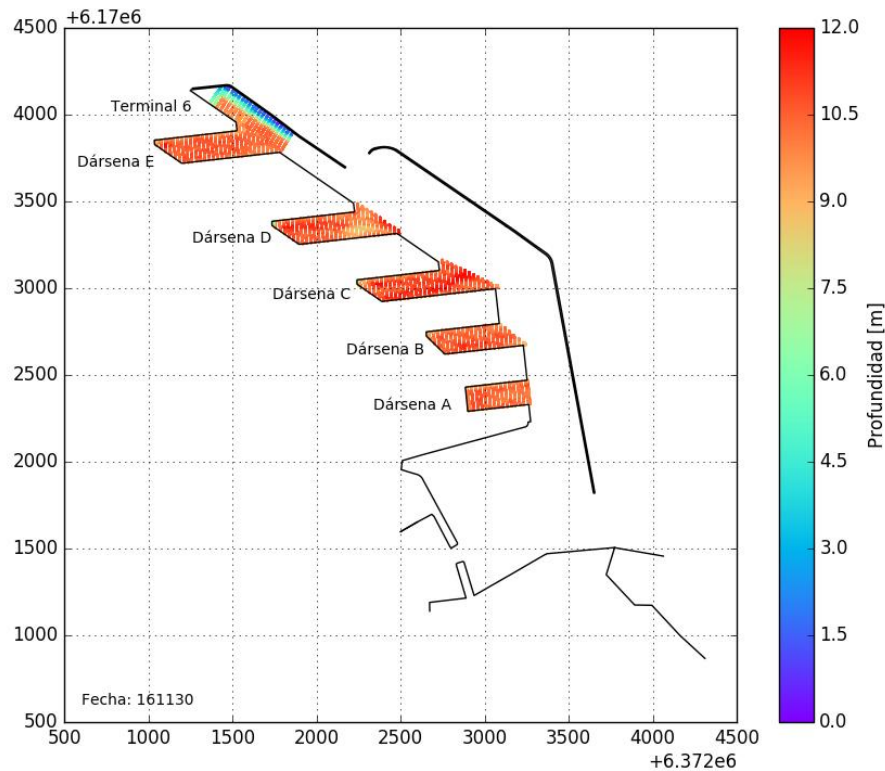
d) Relevamiento 28/Jun/2014.



e) Relevamiento 7/Ene/2016.



f) Relevamiento 21/Jun/2016.



g) Relevamiento 30/Nov/2016.

Figura 7.1. Relevamientos batimétricos en el Puerto de Buenos Aires (zona dársenas; aproximadamente cada seis meses).

7.3 Análisis de relevamientos batimétricos

Las operaciones de dragado realizadas en el Puerto, según la información provista por AGP, es la siguiente:

- *Dragado de Adecuación y Mantenimiento en Canales. Expediente 6700/10. Contrato 02-11*
- *Dragado de Adecuación en el Interior de Puerto. Expediente 5070/12. O/C 99/12*
- *Dragado de Adecuación y Mantenimiento en Dársenas. Expediente 0959/13. O/C 57/13*
- *Dragado en Canal de Acceso e Interior de Dársena F. Expediente 2833/14. O/C 84/14*
- *Dragado de 1.000.000 m³ efectivos en el Interior del Puerto. Expediente 3303/14. O/C 09/15*

Estos dragados se realizaron en distintos períodos y en distintas zonas del puerto.

A título ilustrativo, se muestra el seguimiento de la Dársena A. En la Figura 7.2 se presentan las ventanas temporales en las que hubo operaciones de dragado, junto con el nivel del Río de la Plata.

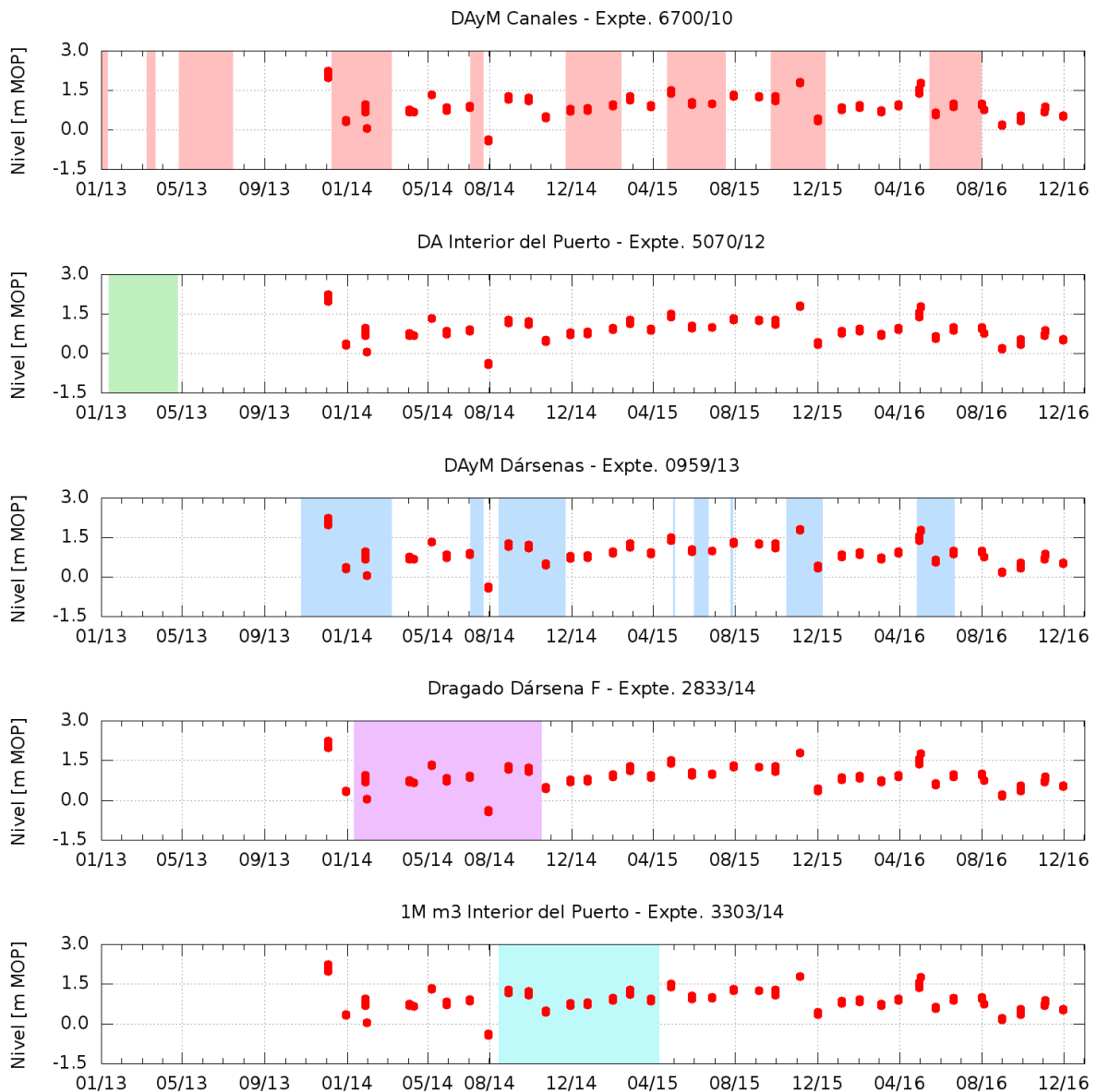
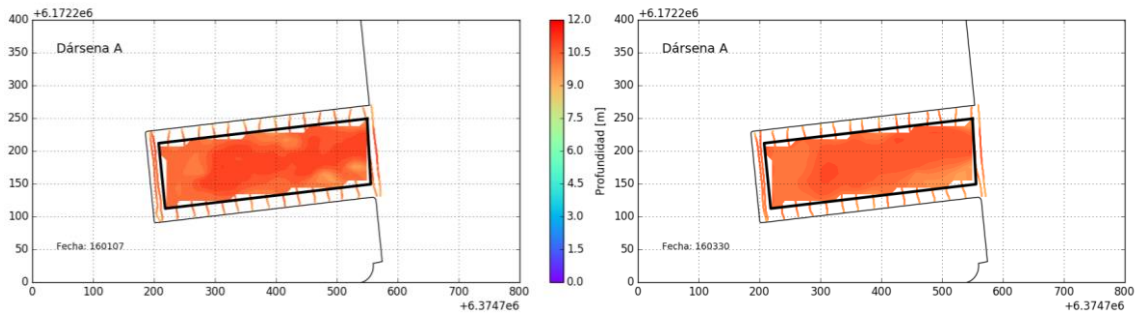


Figura 7.2. Relevamientos batimétricos en la Dársena A (fecha y hora según nivel del Río de la Plata) y ventanas temporales de dragado en distintas zonas del puerto (coloreadas).

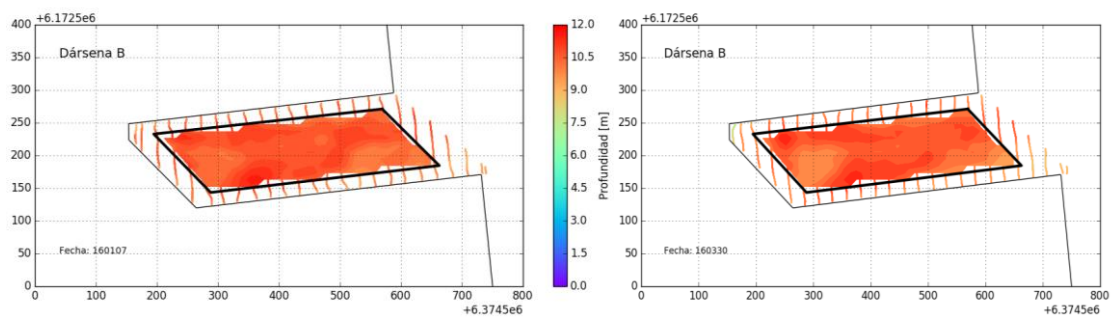
7.4 Tasas de sedimentación

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.

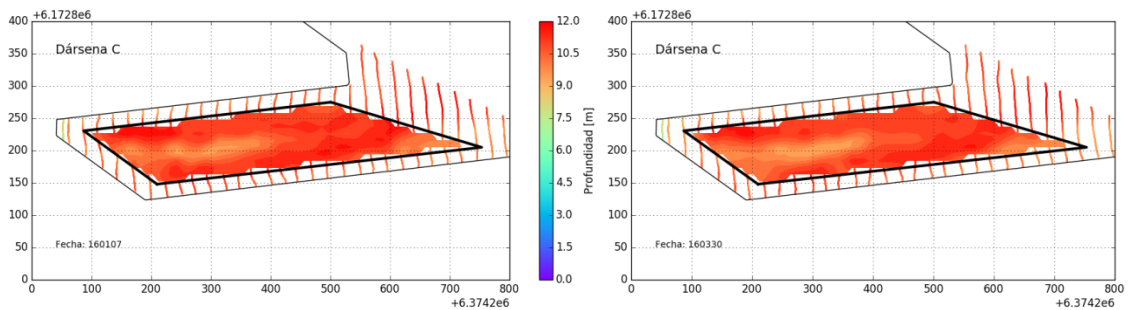
Para cada una de las dos fechas se realizó una interpolación de los puntos batimétricos relevados, con una discretización de 2 m, obteniéndose un Modelo Digital de Elevación (MDE) del fondo de cada dársena. Estos se representan en la Figura 7.3.



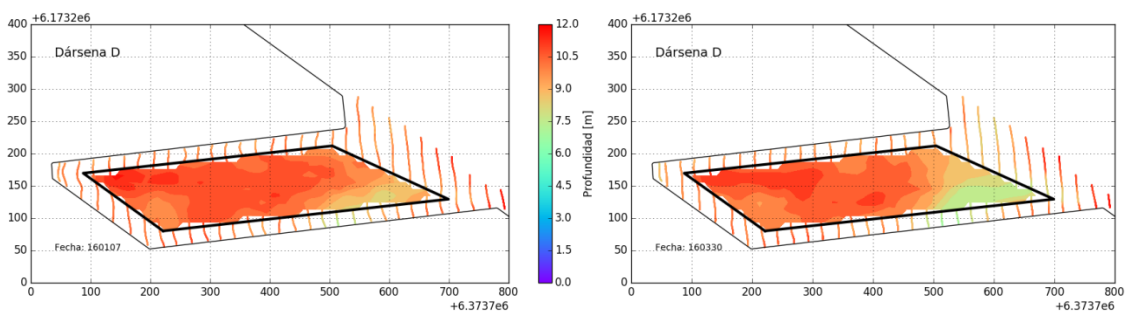
a) Relevamiento Dársena A para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



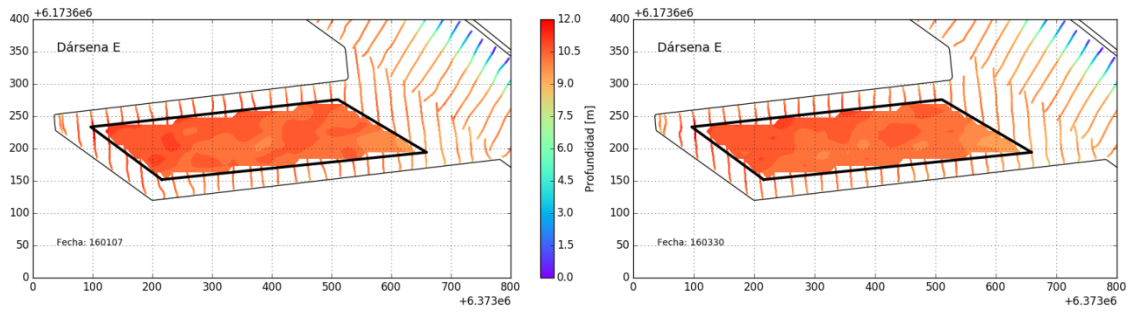
b) Relevamiento Dársena B para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



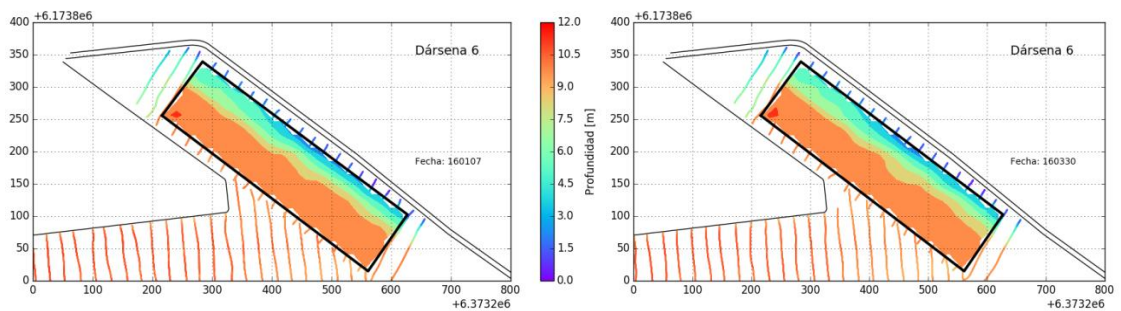
c) Relevamiento Dársena C para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



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



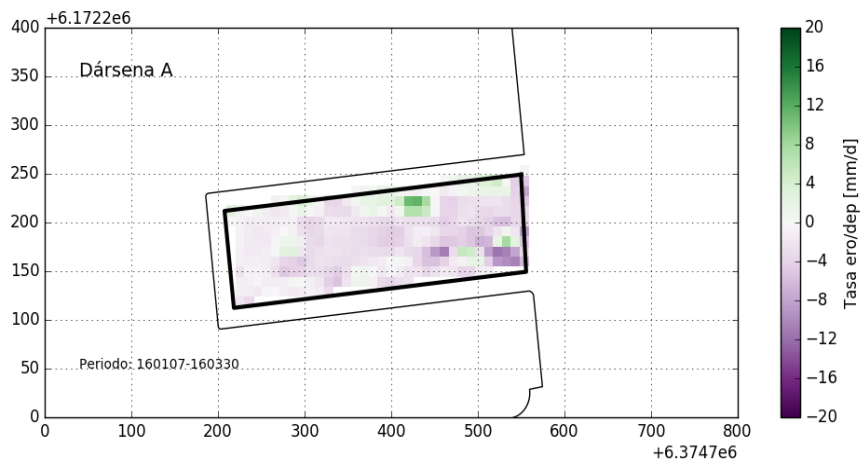
e) Relevamiento Dársena E para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).



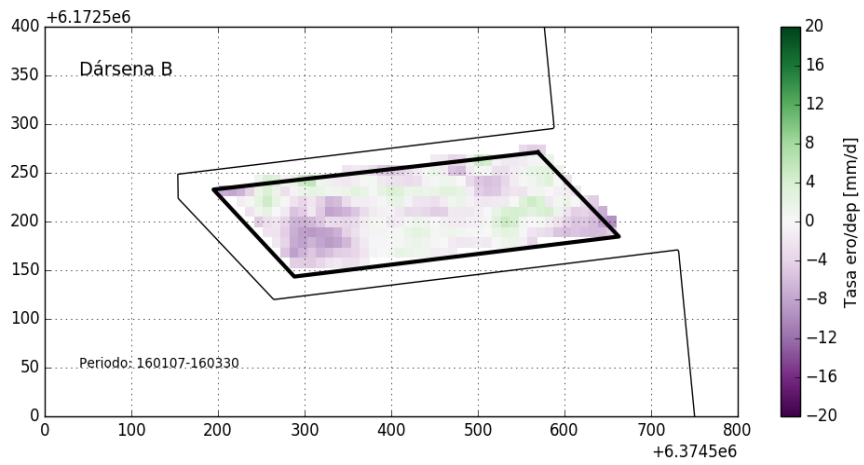
f) Relevamiento Terminal 6 para el 07/ene/16 (izquierda) y 30/mar/16 (derecha).

Figura 7.3. Relevamientos batimétricos en las distintas dársenas para el primer trimestre de 2016 (período sin operaciones de dragado en el Puerto de Buenos Aires).

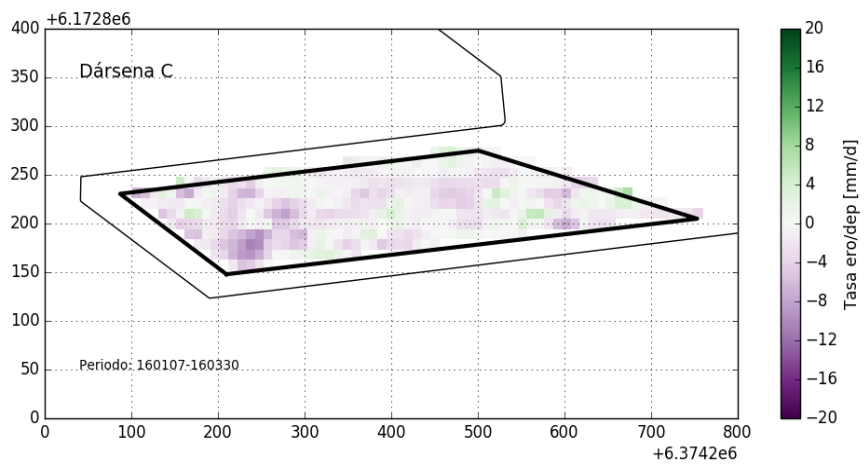
Una vez obtenidas las batimetrías para las dos fechas indicadas (07/ene/16 y 30/mar/16), se calcularon las diferencias entre las mismas, y se las dividió por el tiempo transcurrido entre ambas de modo de obtener tasas medias temporales de sedimentación para todas las dársenas. Estas se representan en la Figura 7.4. 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.



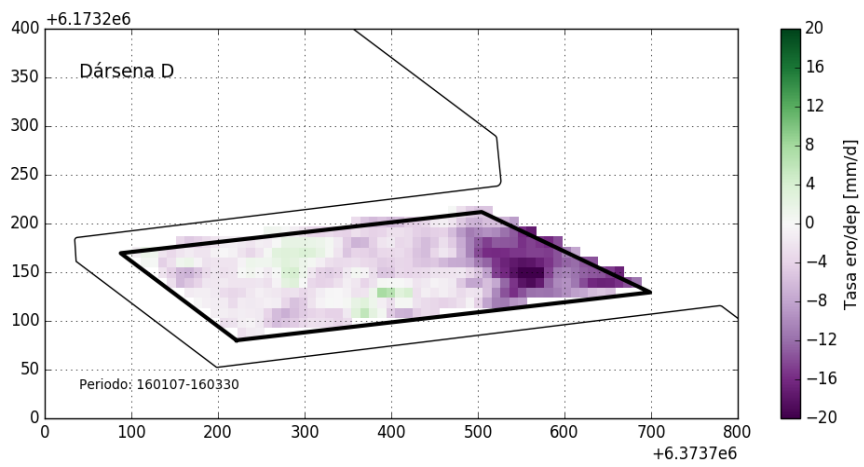
a) Dársena A.



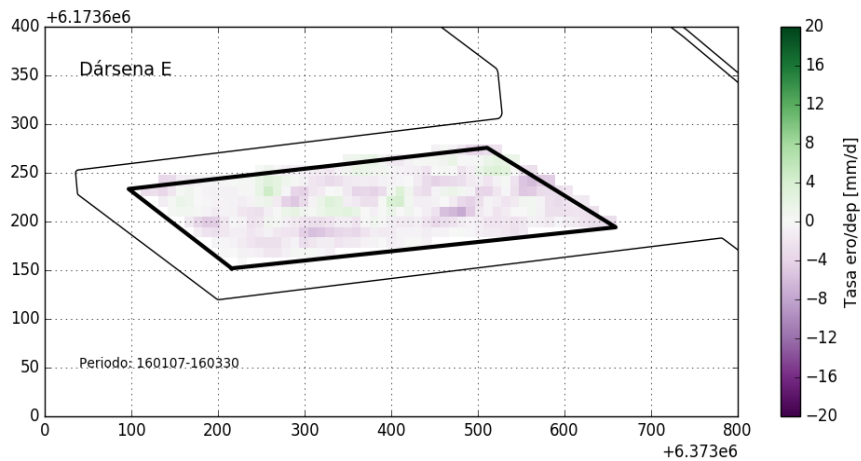
b) Dársena B.



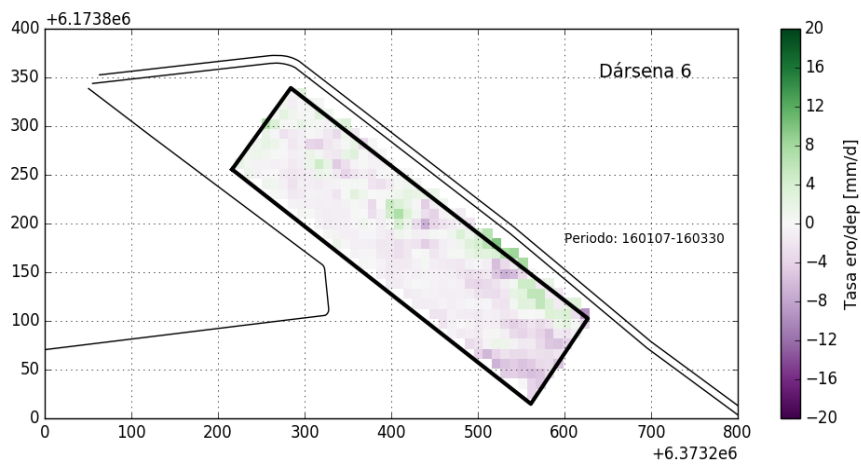
c) Dársena C.



d) Dársena D.



e) Dársena E.



f) Terminal 6.

Figura 7.4. 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 7.4). Los valores de estas tasas medias espacio/temporales se presentan en la Tabla 7.2. 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 7.2. 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

7.5 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, que ya fue descrito en la sección 6.2. Sólo resta agregar que este código 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 Rijn¹², pudiéndose también especificar otro tipo de formulaciones.

7.6 Calibración del modelo

Para calibrar el modelo sedimentológico se utilizaron como referencia los volúmenes sedimentados informados por AGP para el período 2013-2017, estimados a partir de la comparación de relevamientos batimétricos. El dominio de modelación es el mismo que el presentado en el capítulo 6 ('Hidrodinámica del Puerto').

El sedimento fino en suspensión se caracterizó mediante un diámetro medio d_{50} de $25 \mu\text{m}$ ¹³, al que le corresponde una velocidad de caída de 0.4 mm/s. La tensión de corte crítica de sedimentación se estableció en 0.1 N/m^2 . Para la concentración ambiente del sedimento en suspensión se adoptó el valor de 225 mg/l ¹⁴. El modelo se operó con las condiciones mareológicas del periodo 01/mar/2004 al 30/mar/2004, que es representativo de condiciones

¹²Van Rijn. Principles of Sediment Transport in Rivers, Estuaries and Coastal Seas. Amsterdam: Aqua Publications – 111. ISBN 90-800356-2-9, 1993.

¹³ Monica Fossati (2013). "Dinámica global de sedimentos finos en el Río de La Plata". Tesis Doctoral. Facultad de Ingeniería, UdelaR. Montevideo, Uruguay.

¹⁴ Menéndez, A. N. (1997), Estudio del Impacto de Obras de Dragado y Relleno en el Puerto de Bs As, Informe LHA-INA 01-157-97.

hidrodinámicas normales. Se adoptó la formulación 2D.

La Figura 7.5 muestra el mapa de tasas medias temporales de sedimentación obtenidas con el modelo para la configuración actual del puerto. Las menores tasas de sedimentación se observan en el Canal de Pasaje. A partir de este mapa se determinaron, multiplicando las tasas de sedimentación por el área de cada celda, los volúmenes sedimentados. Integrando estos resultados en los distintos sectores de análisis, se obtuvieron los volúmenes anuales sedimentados que se presentan en la Tabla 7.3 y en la Figura 7.6, donde también se indican los rangos de variabilidad de los volúmenes sedimentados observados en el período 2013-2017. 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. Además, aquellos caen dentro de los rangos de variabilidad de los volúmenes observados en todos los sectores del puerto, a excepción de la dársena D, donde existe una relativamente pequeña subestimación.

Se considerará que los rangos de variabilidad de los volúmenes sedimentados registrados son una medida de la incertidumbre asociada a los valores calculados. Para la zona de dársenas se tomará como representativo el máximo rango de variabilidad, de aproximadamente $\pm 25\%$ (con lo cual el volumen calculado para la dársena D también quedará incluido dentro del rango observado), mientras que para la zona del Canal de Pasaje esa variabilidad es de aproximadamente $\pm 40\%$. Estos rangos de incertidumbre también se considerarán representativos para los volúmenes calculados mediante modelación para los escenarios futuros, presentados en la próxima sección.

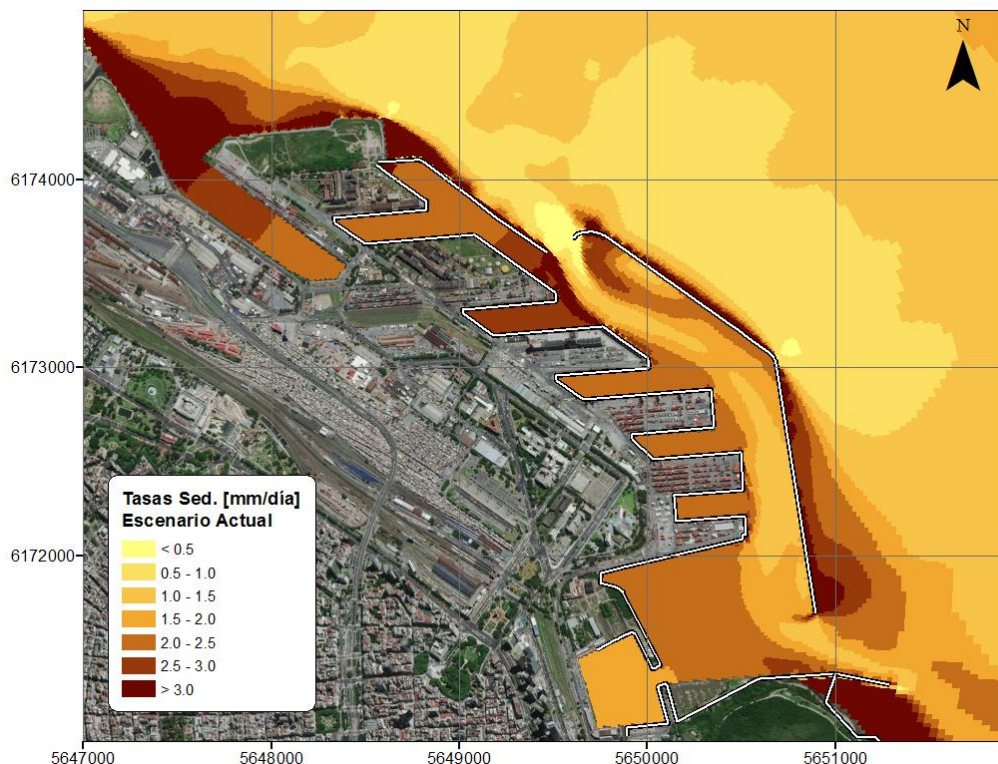
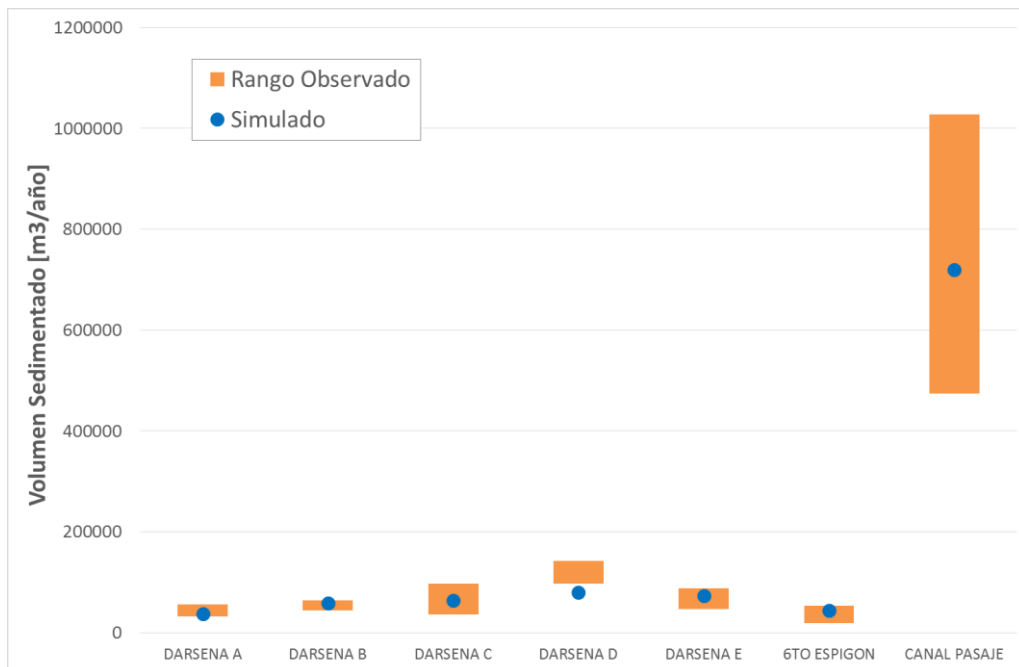


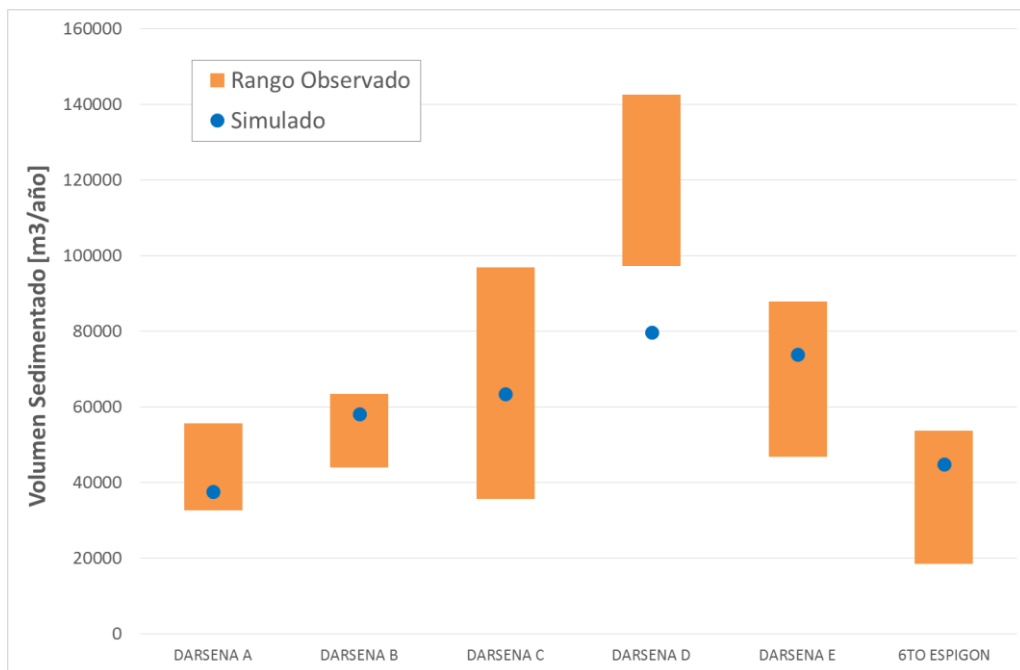
Figura 7.5. Distribución espacial de tasa media temporal de sedimentación para la configuración actual del puerto.

Tabla 7.3 Volúmenes anuales sedimentados en las dársenas y en el canal de pasaje.

Dársena	Volúmenes medios observados para el período 2013-2017 [m ³ /año]	Volúmenes simulados [m ³ /año]
A	40202	37600
B	44416	58100
C	96843	63400
D	100705	79700
E	61945	73800
Terminal 6	34537	44800
Canal Pasaje	828104	719400
TOTAL	1206751	1076800



a) Volúmenes sedimentados para los diferentes sectores del puerto analizados



b) Volúmenes sedimentados para las diferentes dársenas.

Figura 7.6. Volúmenes sedimentados anuales.

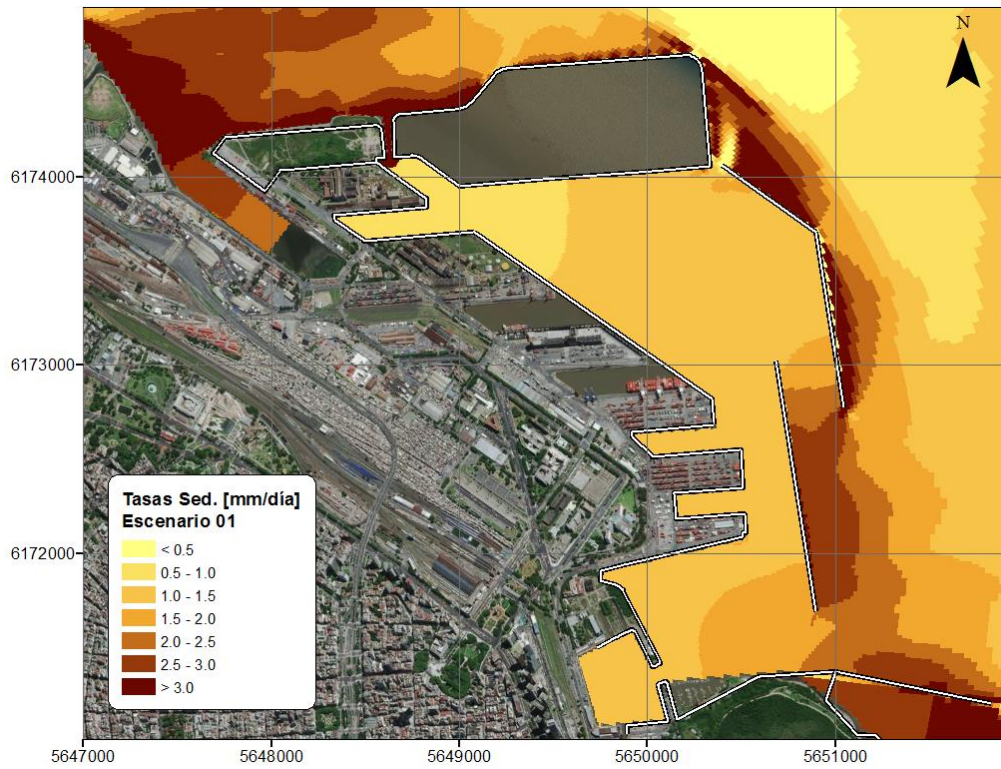
7.7 Escenarios Futuros

7.7.1 Volúmenes anuales sedimentados

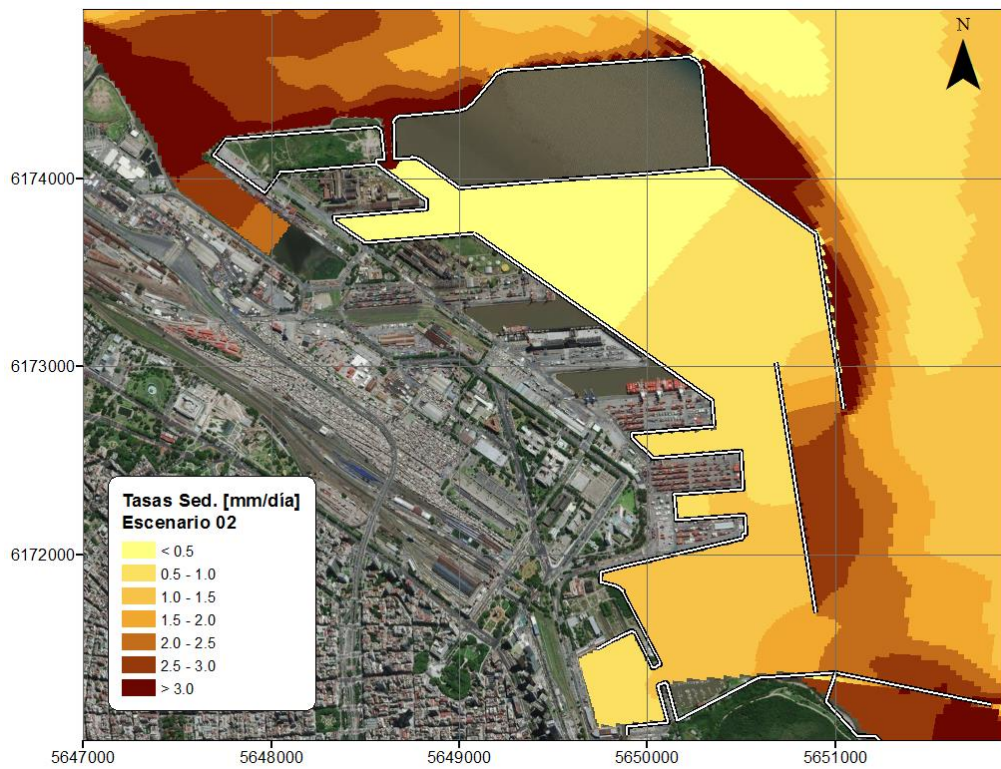
De entre los escenarios futuros planteados en capítulo 3, se seleccionaron los siguientes a los fines de determinar los volúmenes anuales sedimentados:

- *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.

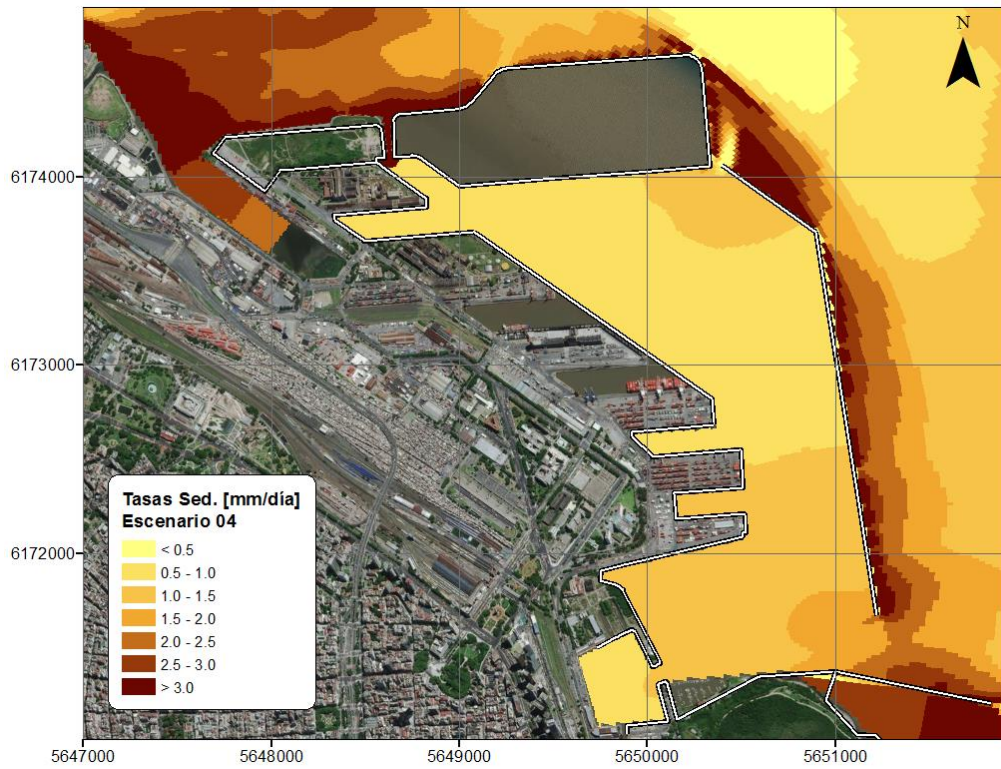
La Figura 7.7 muestra los mapas de distribución espacial de las tasas de sedimentación para los escenarios analizados.



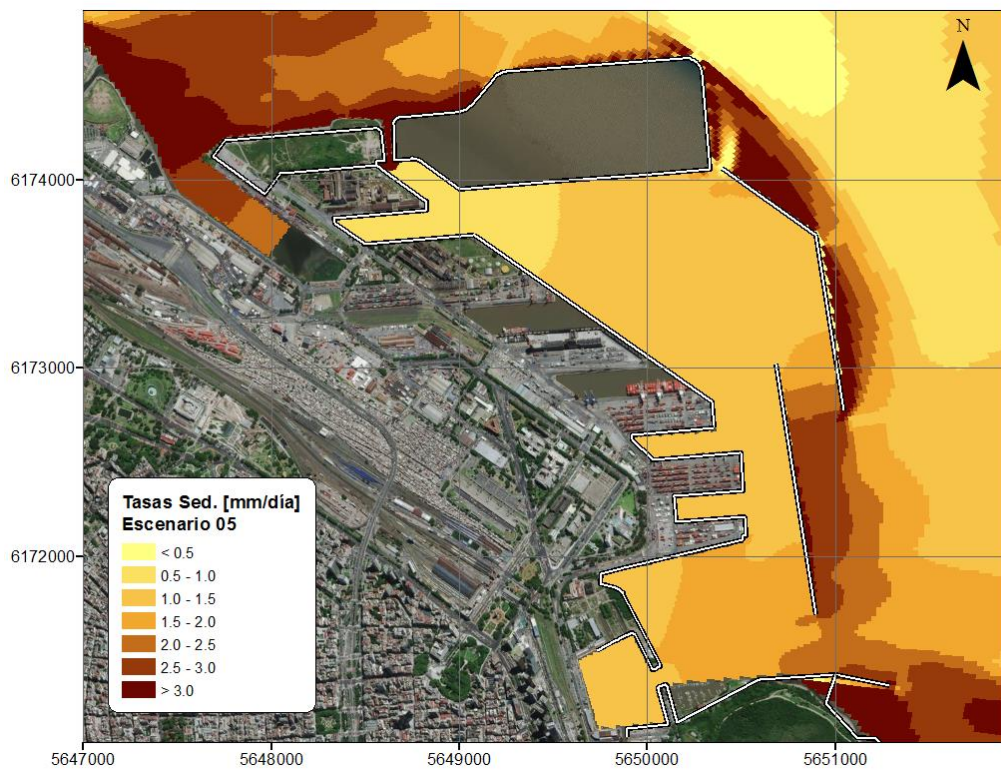
a) Escenario 1



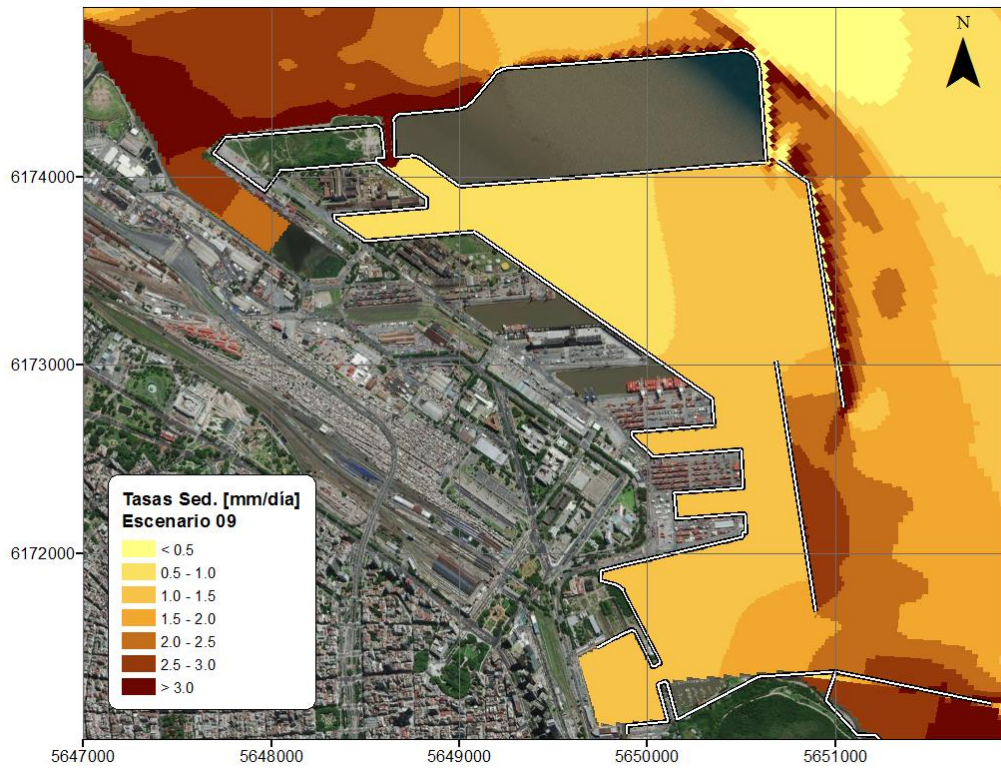
b) Escenario 2



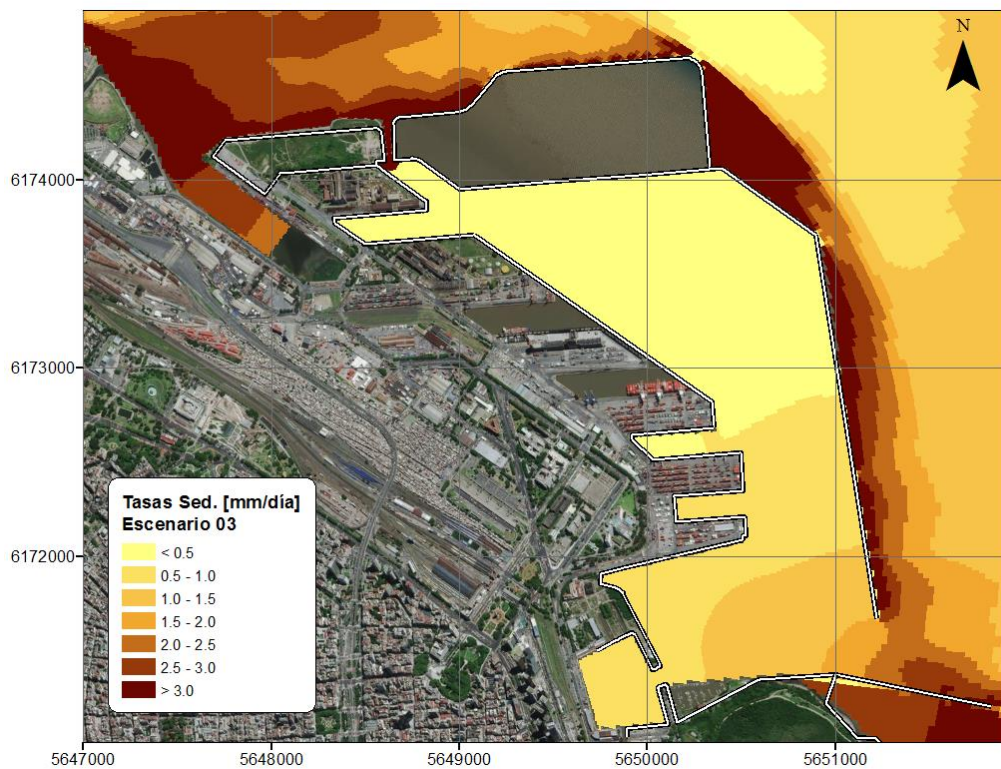
c) Escenario 4



d) Escenario 5



e) Escenario 9



f) Escenario 3

Figura 7.7. Tasas de sedimentación para escenarios futuros.

Se determinaron los volúmenes anuales sedimentados medios esperados en los sectores que se indican en la Figura 7.8. Los resultados se muestran en la Figura 7.9. Los volúmenes medios totales por escenario se presentan en la Tabla 7.4 y la Figura 7.10. Se observa que:

- Los volúmenes esperados para las dársenas A, B, E, la Terminal 6 y el Canal de Pasaje son significativamente menores a las actuales para todos los escenarios. La mayor reducción se da para el Escenario 3, en el que se elimina la Boca Falsa y se modifica el extremo sur de la escollera.
- Los escenarios futuros presentan un mayor volumen sedimentado sobre el Canal de Acceso. El menor volumen en los escenarios futuros se obtiene para el Escenario 5, en el cual no se extiende la obra de abrigo Sur.
- Los Escenarios 1, 4, 5 y 9 presentan volúmenes anuales sedimentados similares al actual.
- Por el contrario, los Escenarios 2 y 3 muestran volúmenes significativamente menores al del puerto actual, con reducciones del 32 y 37% 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 Canal de Pasaje representan más del 70% 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.

Incorporando los márgenes de incertidumbre discutidos en la sección anterior, se obtienen los volúmenes anuales máximos y mínimos esperados mostrados en la Tabla 7.6. En la Figura 7.11 se representan los rangos de sedimentación esperados para cada escenario.

Resulta pertinente comentar que en el estudio antecedente del INA de 1997¹⁵ las predicciones de volúmenes sedimentados para los escenarios futuros resultaron en valores mayores a los asociados a la situación sin proyecto, contrariamente a lo que se ha obtenido en el presente estudio. Este cambio se explica por la utilización de una metodología de modelación más sofisticada. En efecto, en el estudio antecedente se imponía en forma forzada la concentración de sedimento en el interior del puerto (es decir, se trataba de un modelo de deposición, sin considerar el transporte), igual a su valor en la zona exterior al puerto. En cambio, en este estudio se calcula la distribución de concentración dentro del puerto con el modelo sedimentológico de transporte y deposición, lo que resulta en valores de concentración inferiores a su valor en el exterior del puerto.

¹⁵ Menéndez, A. N. (1997), Estudio del Impacto de Obras de Dragado y Relleno en el Puerto de Bs As, Informe LHA-INA 01-157-97.

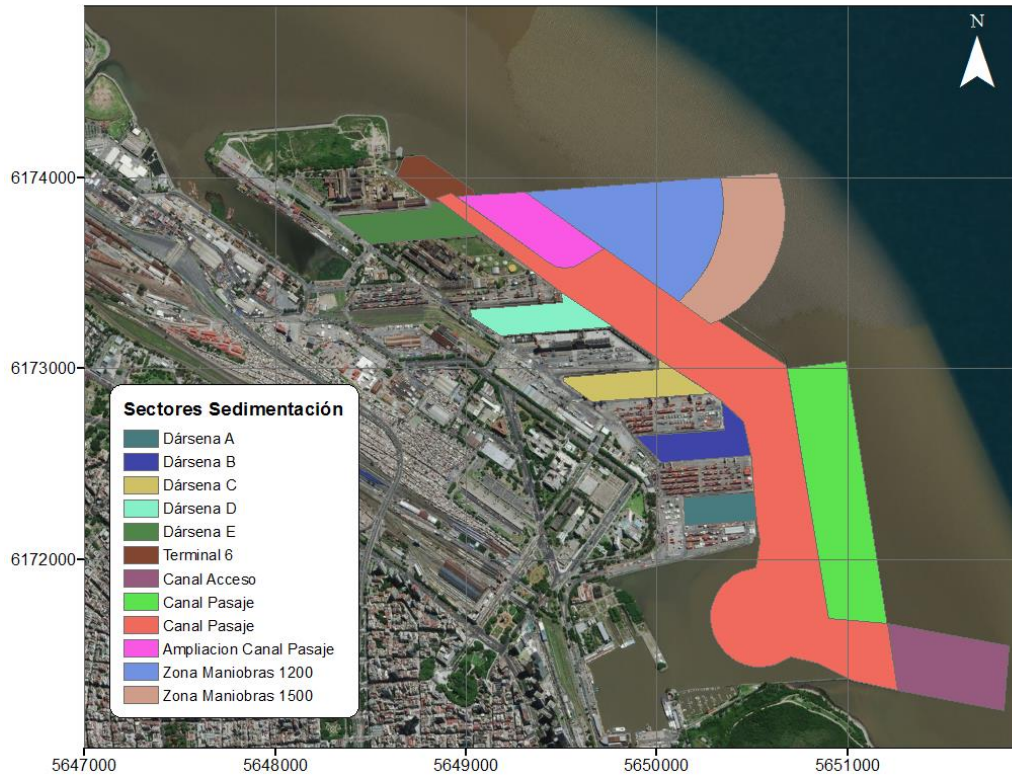


Figura 7.8. Sectores de análisis de volúmenes de sedimentación.

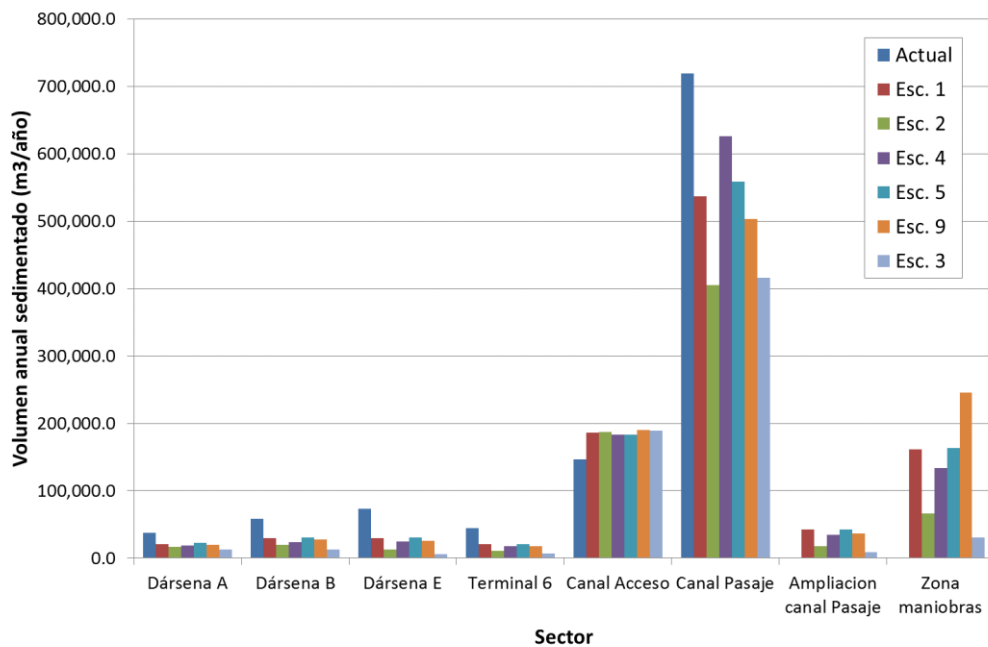


Figura 7.9. Volúmenes medios anuales sedimentados en los sectores para escenarios futuros.

Tabla 7.4. Volúmenes medios anuales sedimentados 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	37600	21200	16500	18300	22700	19900	12500
Dársena B	58000	29800	20100	23500	31100	27600	12800
Dársena E	73700	29900	12500	24400	30300	25500	5900
Terminal 6	44800	20300	10900	17400	20600	17900	7300
Canal Acceso	146700	186300	187200	183400	183300	190300	189300
Canal Pasaje	719300	536600	405500	626100	558400	502600	415500
Ampliación Canal Pasaje	-	42400	17900	34700	43000	36300	8500
Zona maniobras	-	161600	65900	133400	163700	245600	30800
TOTAL	1080100	1028100	736500	1061200	1053100	1065700	682600

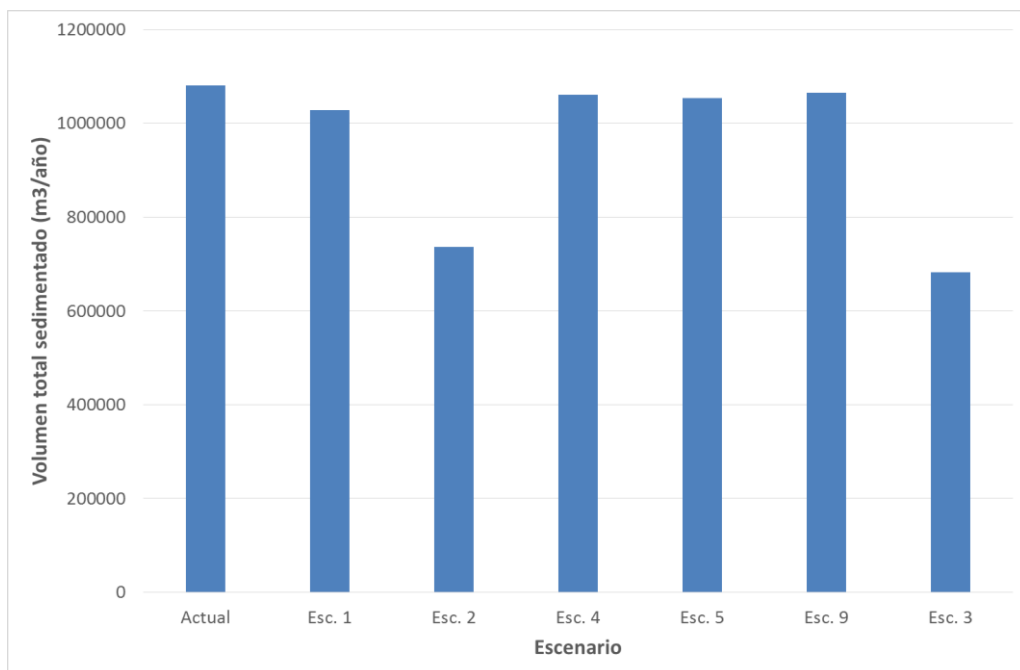


Figura 7.10. Volúmenes anuales totales sedimentados en los sectores para escenarios futuros.

Tabla 7.5. Volúmenes mínimos y máximos anuales sedimentados 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	Mínimo	37600	15900	12400	13700	17000	14900	9400
	Máximo		26500	20600	22900	28400	24900	15600
Dársena B	Mínimo	58000	22400	15100	17600	23300	20700	9600
	Máximo		37300	25100	29400	38900	34500	16000
Dársena E	Mínimo	73700	22400	9400	18300	22700	19100	4400
	Máximo		37400	15600	30500	37900	31900	7400
Terminal 6	Mínimo	44800	15200	8200	13100	15500	13400	5500
	Máximo		25400	13600	21800	25800	22400	9100
Canal Acceso	Mínimo	146700	111800	112300	110000	110000	114200	113600
	Máximo		260800	262100	256800	256600	266400	265000
Canal Pasaje	Mínimo	719300	322000	243300	375700	335000	301600	249300
	Máximo		751200	567700	876500	781800	703600	581700
Ampliación Canal Pasaje	Mínimo	-	25400	10700	20800	25800	21800	5100
	Máximo		59400	25100	48600	60200	50800	11900
Zona maniobras	Mínimo	-	121200	49400	100100	122800	184200	23100
	Máximo		202000	82400	166800	204600	307000	38500
TOTAL	Mínimo	1080100	656300	460800	669300	672100	689900	420000
	Máximo		1400000	1012200	1453300	1434200	1441500	945200

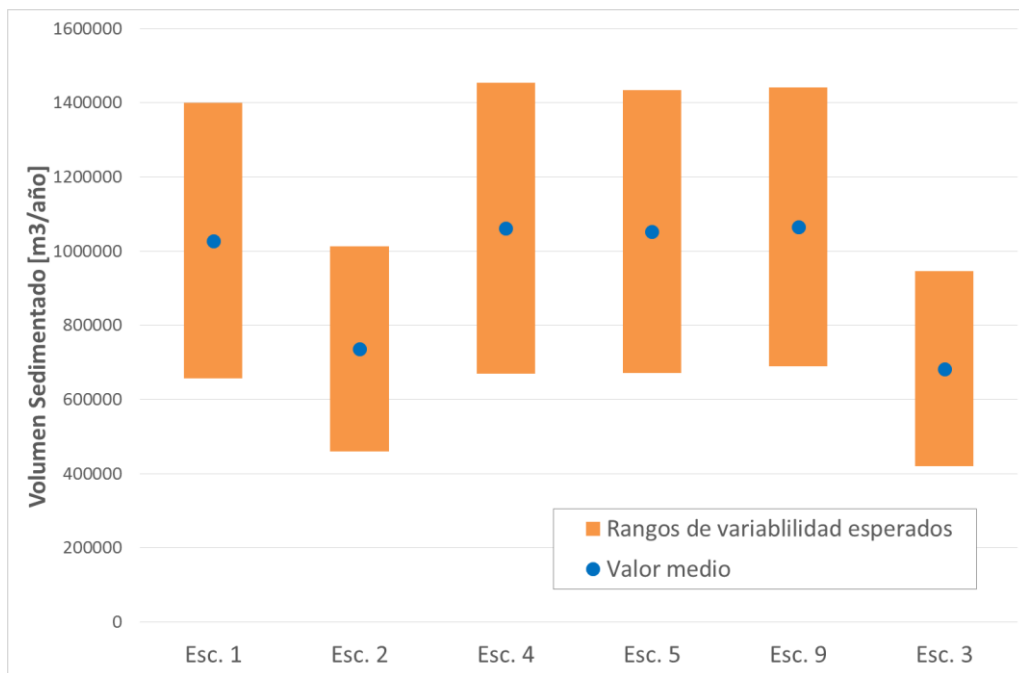


Figura 7.11. Volúmenes anuales totales sedimentados para escenarios futuros

7.7.2 Análisis

De los resultados presentados surge que:

- En las dársenas y en la Zona de Maniobras se observan los menores volúmenes sedimentados para las configuraciones que no poseen boca falsa (Escenarios 2 y 3).
- En el Canal de Pasaje los menores volúmenes de sedimentación se presentan con el esquema sin boca falsa y con la escollera modificada (Escenario 3).
- Si se analizan en conjunto la Zona de Maniobras y del Canal de Pasaje, 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 sedimentados, 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 7.12 y la Figura 7.13, respectivamente. La Tabla 7.6, la Tabla 7.7 y la Tabla 7.8 muestran, respectivamente, los volúmenes anuales sedimentados medios, máximos y mínimos, para dichos escenarios. Los mismos resultados pueden verse en la Figura 7.14. Se observa que resultan volúmenes sedimentados menores a los del puerto actual, tal como se había adelantado más arriba. Por otro lado, si bien el área del puerto interior en el Escenario 15 es ligeramente mayor que en el Escenario 7 (del orden del 2,5%), se observa que el volumen sedimentado es levemente menor (aproximadamente 2%); esto se asocia a que en el primer caso se sedimenta más volumen en el canal de acceso, lo que genera una menor concentración de sedimentos en el interior del puerto. De todos modos, debe tenerse en

cuenta que esta diferencia resulta despreciable en la práctica frente a la variabilidad esperada.

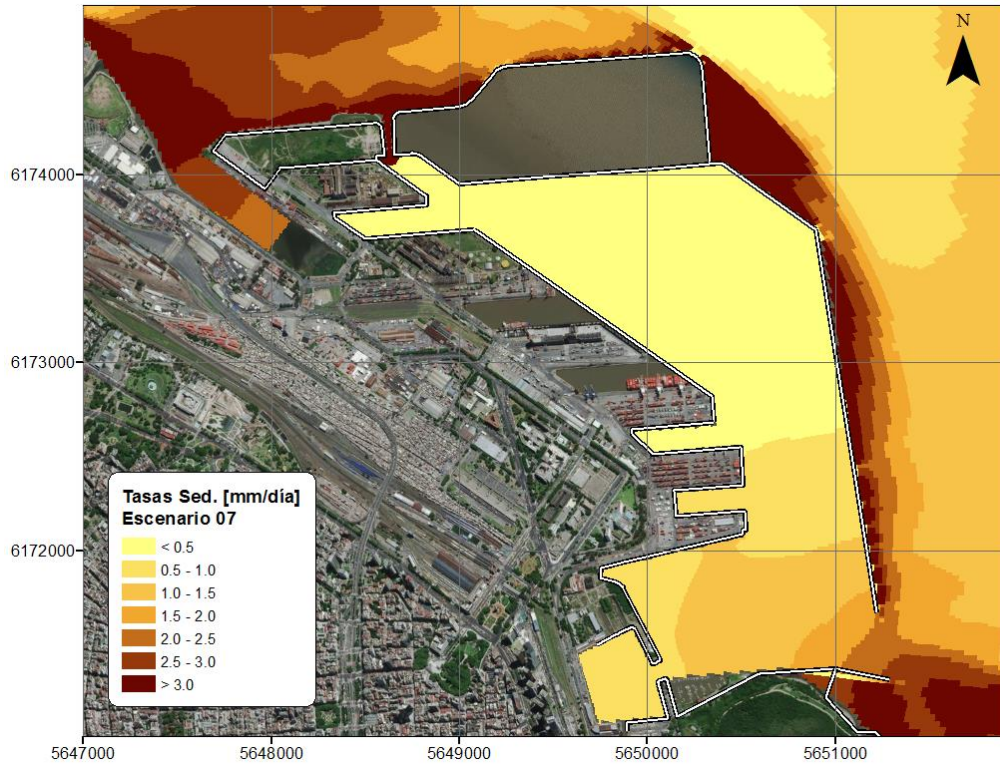


Figura 7.12.Tasas de sedimentación para el Escenario 7.

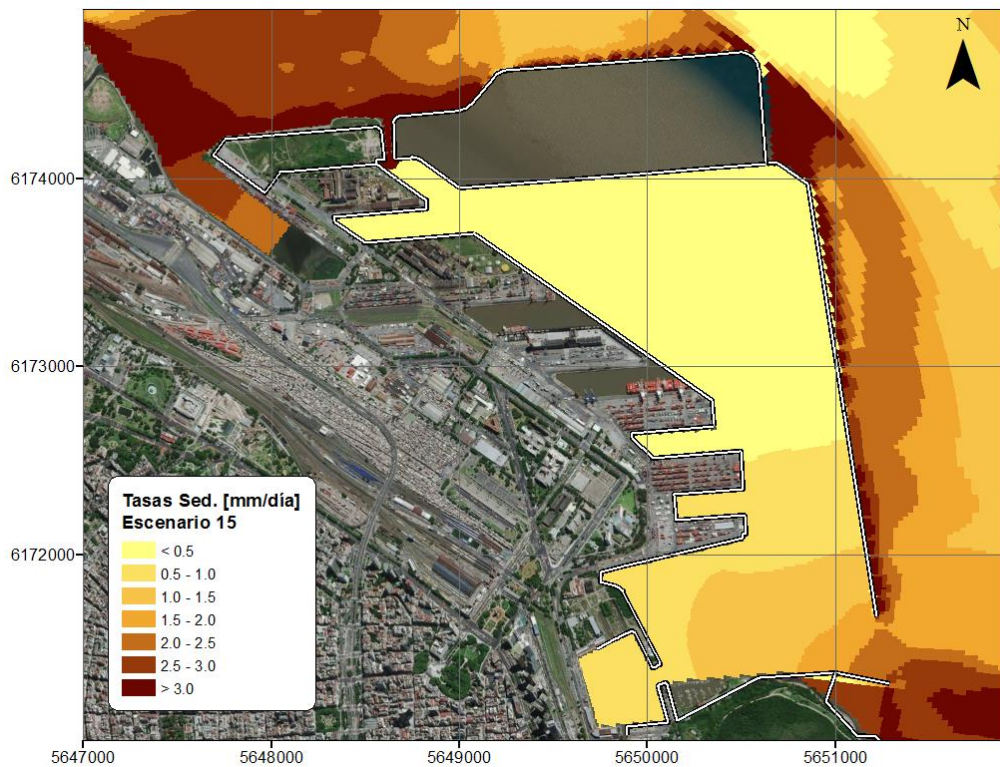


Figura 7.13.Tasas de sedimentación para el Escenario 15.

Tabla 7.6. Volúmenes medios anuales sedimentados para los escenarios 7 y 15.

Sector	Vol. Sed. Actual [m³/año]	Vol. Sed. Esc. 7 [m³/año]	Vol. Sed. Esc. 15 [m³/año]
Dársena A	37600	12100	11600
Dársena B	58000	11000	10600
Dársena E	73700	4800	4500
Terminal 6	44800	6700	6400
Canal Acceso	146700	190600	192500
Canal Pasaje	719300	417700	389200
Ampliación Canal Pasaje	-	6900	6500
Zona maniobras	-	25200	40600
TOTAL	1080100	675000	661900

Tabla 7.7. Volúmenes máximos anuales sedimentados para los escenarios 7 y 15.

Sector	Vol. Sed. Actual [m³/año]	Vol. Sed. Esc. 7 [m³/año]	Vol. Sed. Esc. 15 [m³/año]
Dársena A	37600	15100	14500
Dársena B	58000	13800	13300
Dársena E	73700	6000	5600
Terminal 6	44800	8400	8000
Canal Acceso	146700	266800	269500
Canal Pasaje	719300	584800	544900
Ampliación Canal Pasaje	-	9700	9100
Zona maniobras	-	31500	50800
TOTAL	1080100	936100	915700

Tabla 7.8. Volúmenes mínimos anuales sedimentados para los escenarios 7 y 15.

Sector	Vol. Sed. Actual [m ³ /año]	Vol. Sed. Esc. 7 [m ³ /año]	Vol. Sed. Esc. 15 [m ³ /año]
Dársena A	37600	9100	8700
Dársena B	58000	8300	8000
Dársena E	73700	3600	3400
Terminal 6	44800	5000	4800
Canal Acceso	146700	114400	115500
Canal Pasaje	719300	250600	233500
Ampliación Canal Pasaje	-	4100	3900
Zona maniobras	-	18900	30500
TOTAL	1080100	414000	408300

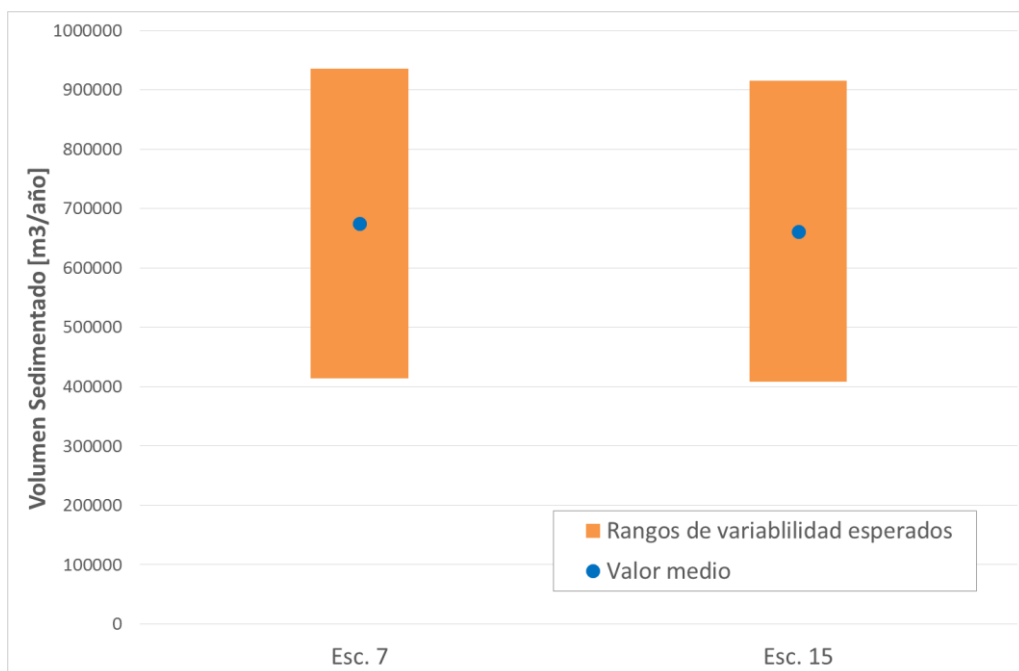


Figura 7.14. Volúmenes anuales sedimentados para los escenarios 7 y 15

8 DESCARGAS TÉRMICAS

8.1 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 8.1). 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 8.1), 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. Se utilizó el sistema de modelación Delft3D, ya descrito.

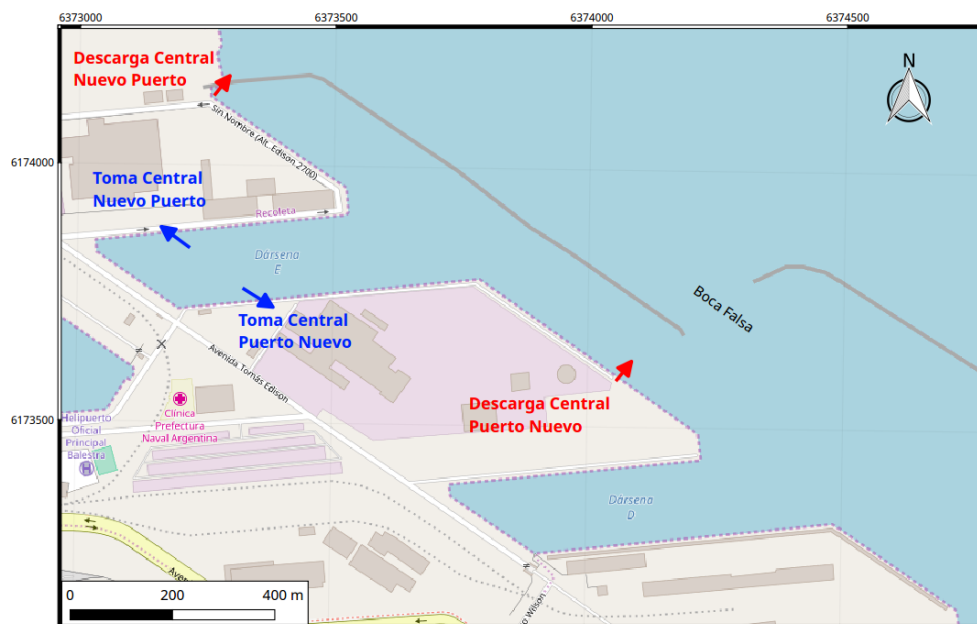


Figura 8.1. Ubicación de las obras de toma y descarga de agua de refrigeración de las centrales térmicas.

8.2 Calibración del modelo

La campaña de relevamiento de setiembre de 1997 contó con estaciones distribuidas en la Dársena E, el Canal de Pasaje y la Boca Falsa. En la Figura 8.2 se presentan las ubicaciones de esas estaciones.

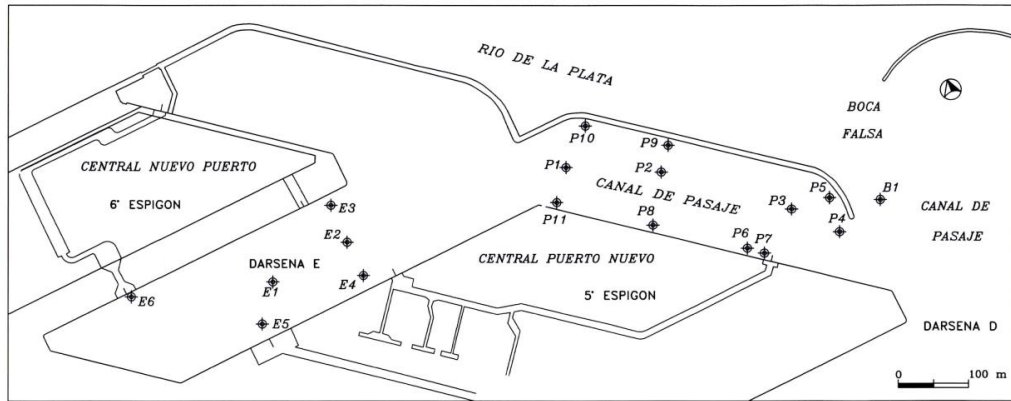


Figura 8.2. Estaciones de relevamiento de temperaturas – Campaña Set/1997

La onda de marea registrada durante esta campaña en la estación Palermo (Figura 8.3) es representativa de una condición normal, en la que los niveles oscilan en torno al nivel medio (0,79 mMOP), con excepción de una sudestada registrada alrededor del 18 de setiembre.

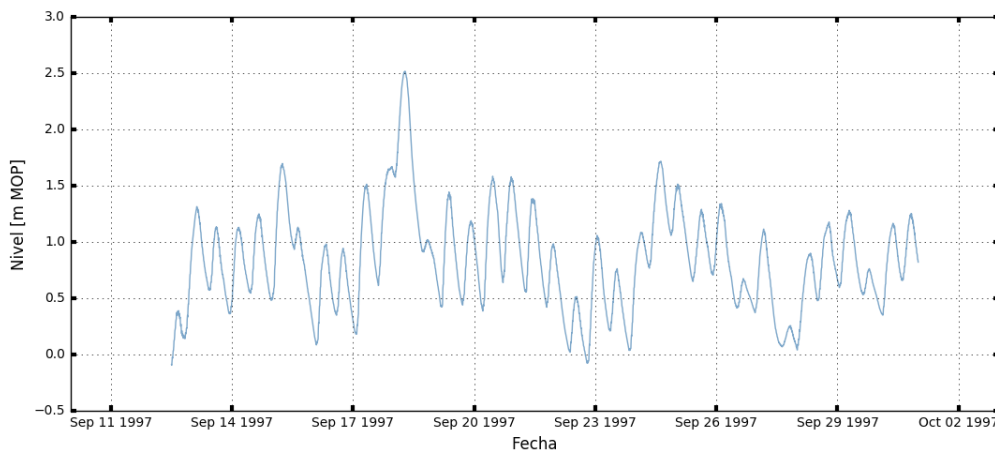


Figura 8.3. Niveles del río– Campaña Sep/1997

La serie temporal de temperaturas registradas en la descarga de la CNP se presenta en la Figura 8.4 , junto con la temperatura media del río.

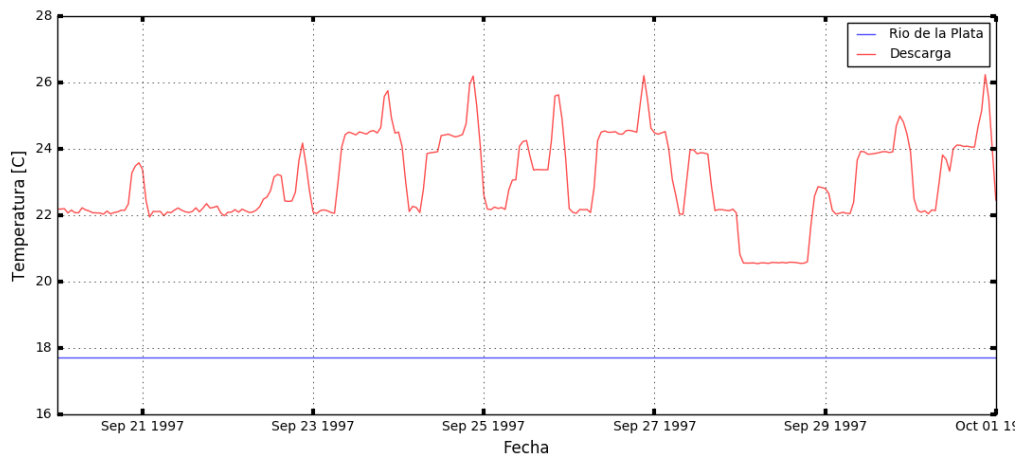
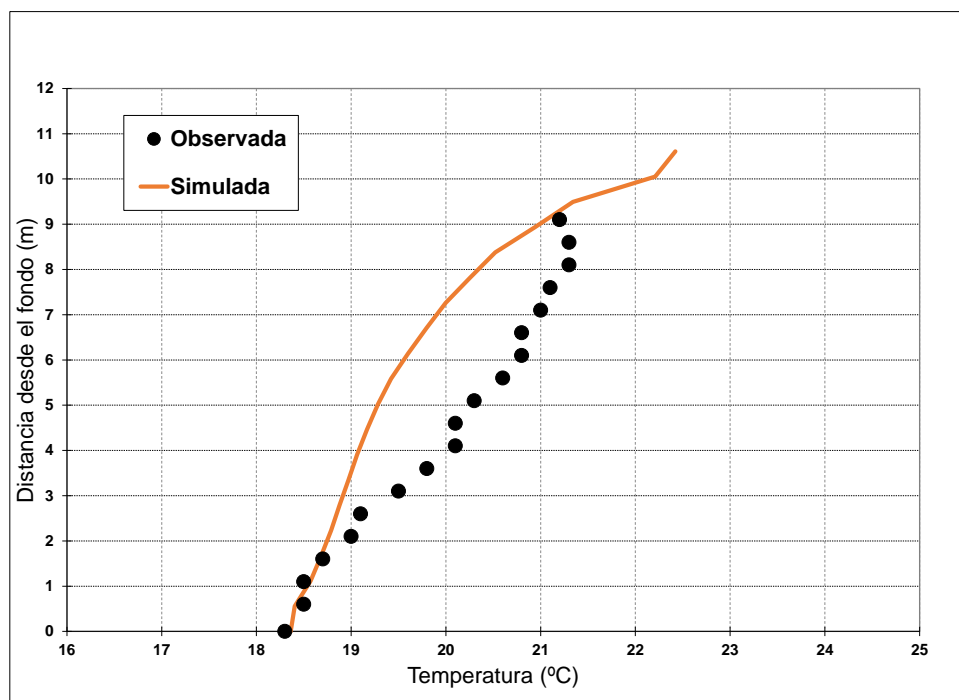


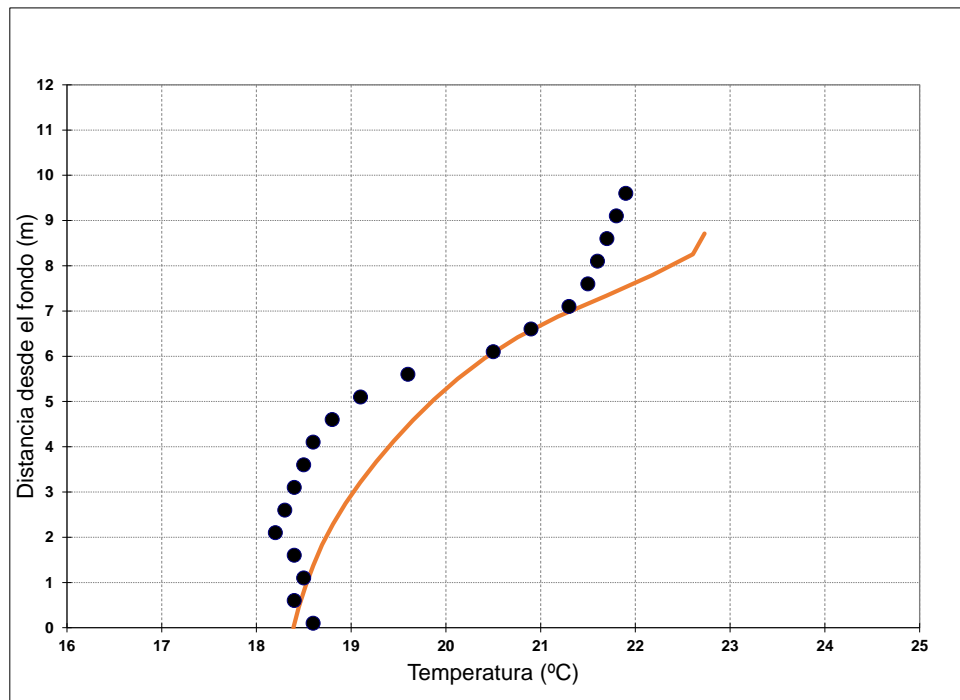
Figura 8.4. Temperaturas en el río y en la descarga – Campaña Set/1997

La calibración consistió en ajustar el coeficiente de difusión horizontal, que fue fijado en $1 \text{ m}^2/\text{s}$, para poder representar adecuadamente la concentración del bulbo inicial de sobretemperaturas. Adicionalmente, dado que el modelo no resuelve con precisión el campo cercano de la descarga debido al tamaño de las celdas, el efecto de sobredilución inicial que esto provoca debió de ser compensado duplicando la sobretemperatura de la descarga respecto de lo medido.

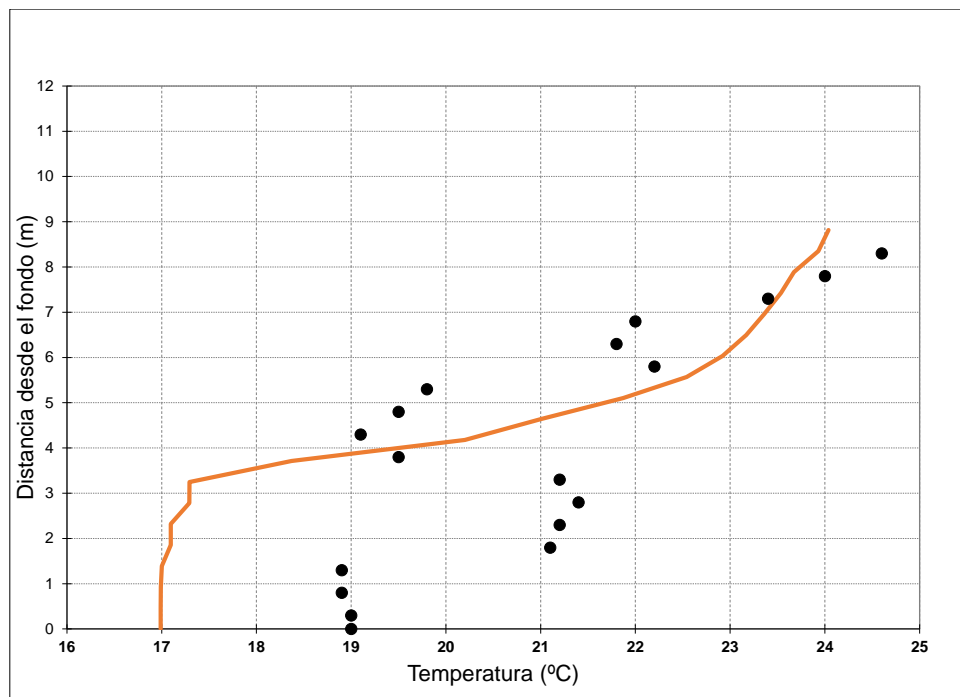
La Figura 8.5 muestra la comparación entre los perfiles verticales de temperatura medidos y calculados correspondientes al 30 de setiembre de 1997, entre las 11 y las 13 horas. El acuerdo general se considera satisfactorio, dado que el modelo logra capturar los gradientes verticales.



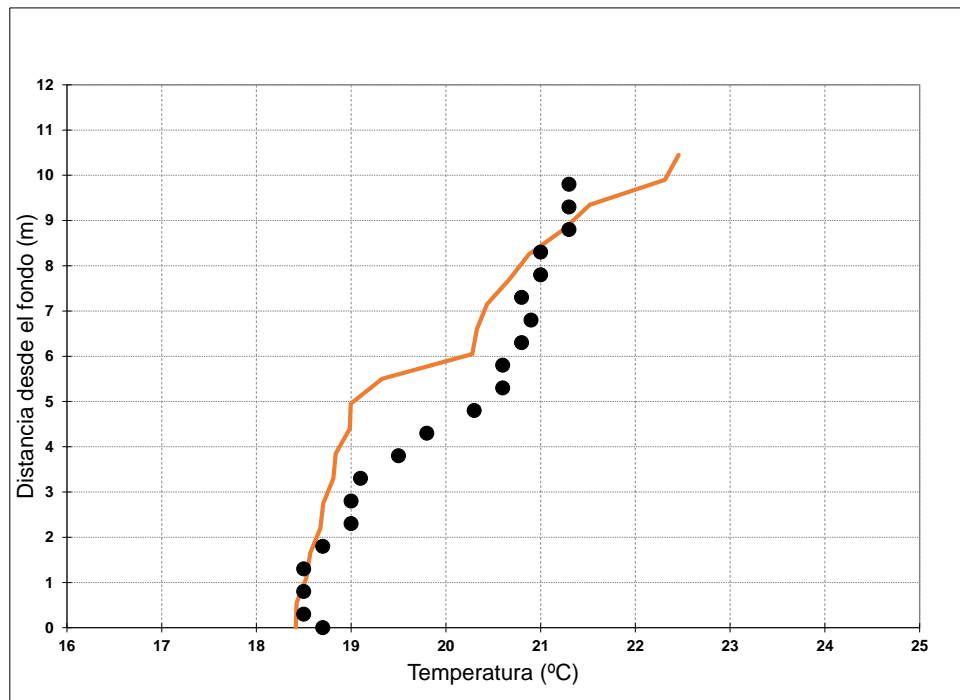
a) Estación E2 (representativo de la Dársena E)



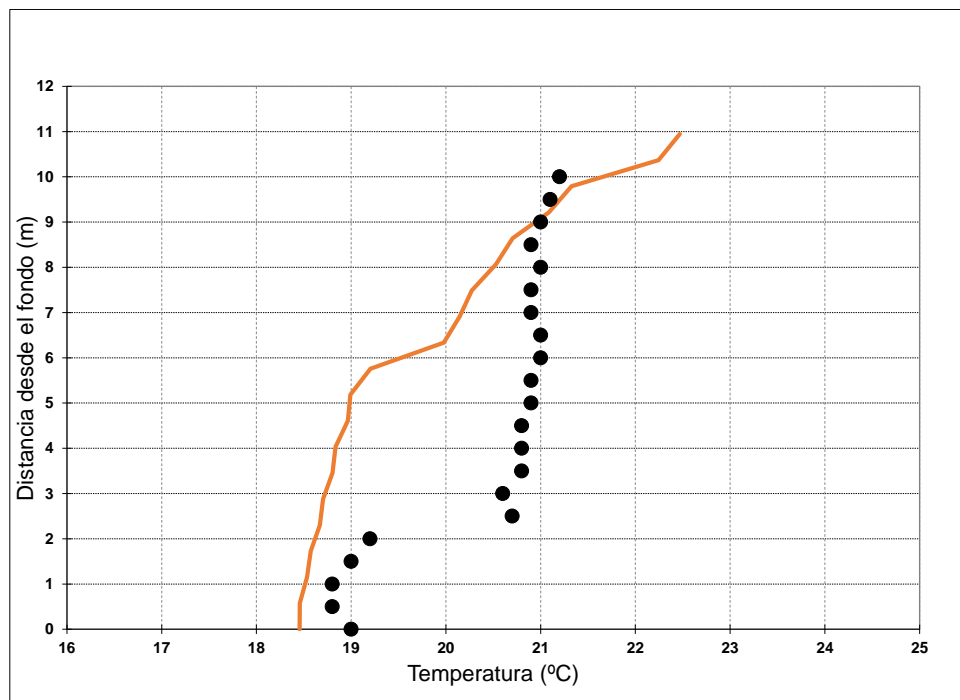
b) Estación P1 (representativo del Canal de Pasaje)



c) Estación P7 (junto a la descarga)



d) Estación E5 (junto a la Toma de la CPN)

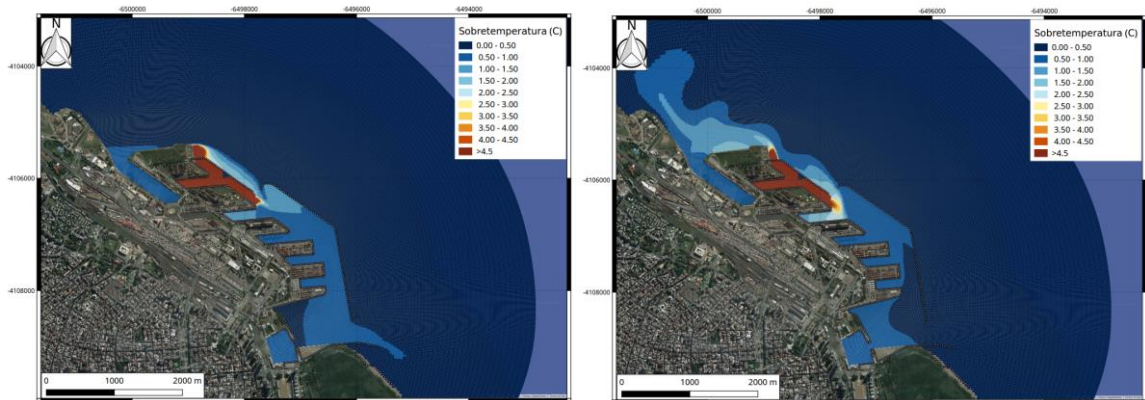


e) Estación E6 (junto a la Toma de CNP)

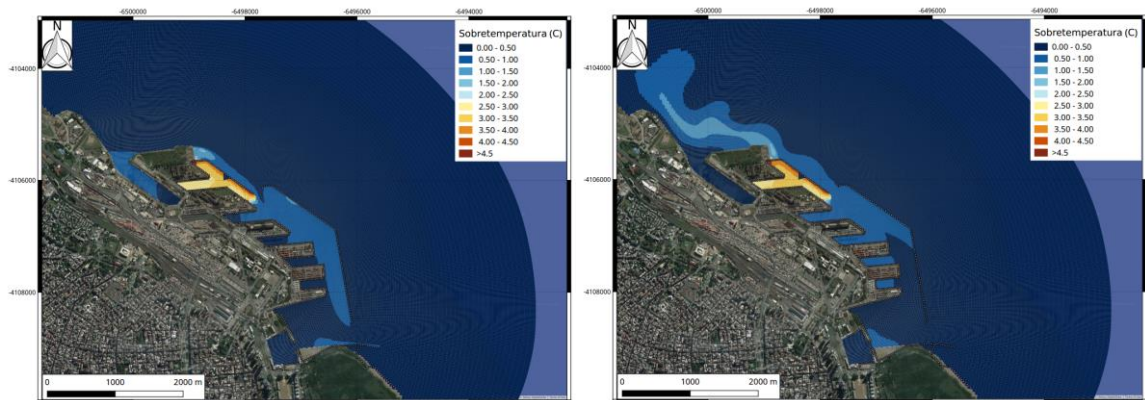
Figura 8.5. Perfiles verticales de temperatura

8.3 Distribución de sobretemperatura

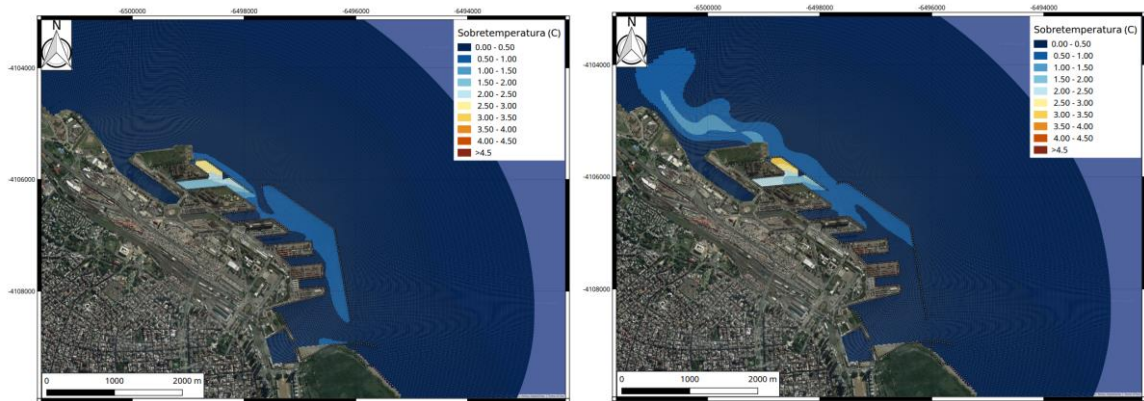
Se consideró una temperatura de base de 17.7°C. En la Figura 8.6 se presentan las distribuciones de sobretemperatura correspondientes a distintas capas para un instante de marea creciente y uno de marea bajante para la configuración actual del puerto. Se observa claramente la generación de relativamente altas sobretemperaturas (mayores a 4,0°C) en la capa superior, generadas por las descargas, que disminuyen hacia el fondo, donde la sobretemperatura es menor a 2,5°C excepto en la dársena E. 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 8.6. Distribución de sobrettemperatura para la configuración actual (izq.: bajante; der.: creciente)

Se efectuaron ensayos con el modelo 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 8.7 se muestran las distribuciones de sobrettemperatura para el Escenario 7. Para el interior portuario se observa que, bajo el influjo de la descarga de la CPN, ahora las sobrettemperaturas resultan menores que en el caso actual, sin superar los 4,0°C en superficie y 1,5°C en el fondo, y siendo mayores en la zona norte del recinto portuario debido a la ubicación de la descarga.

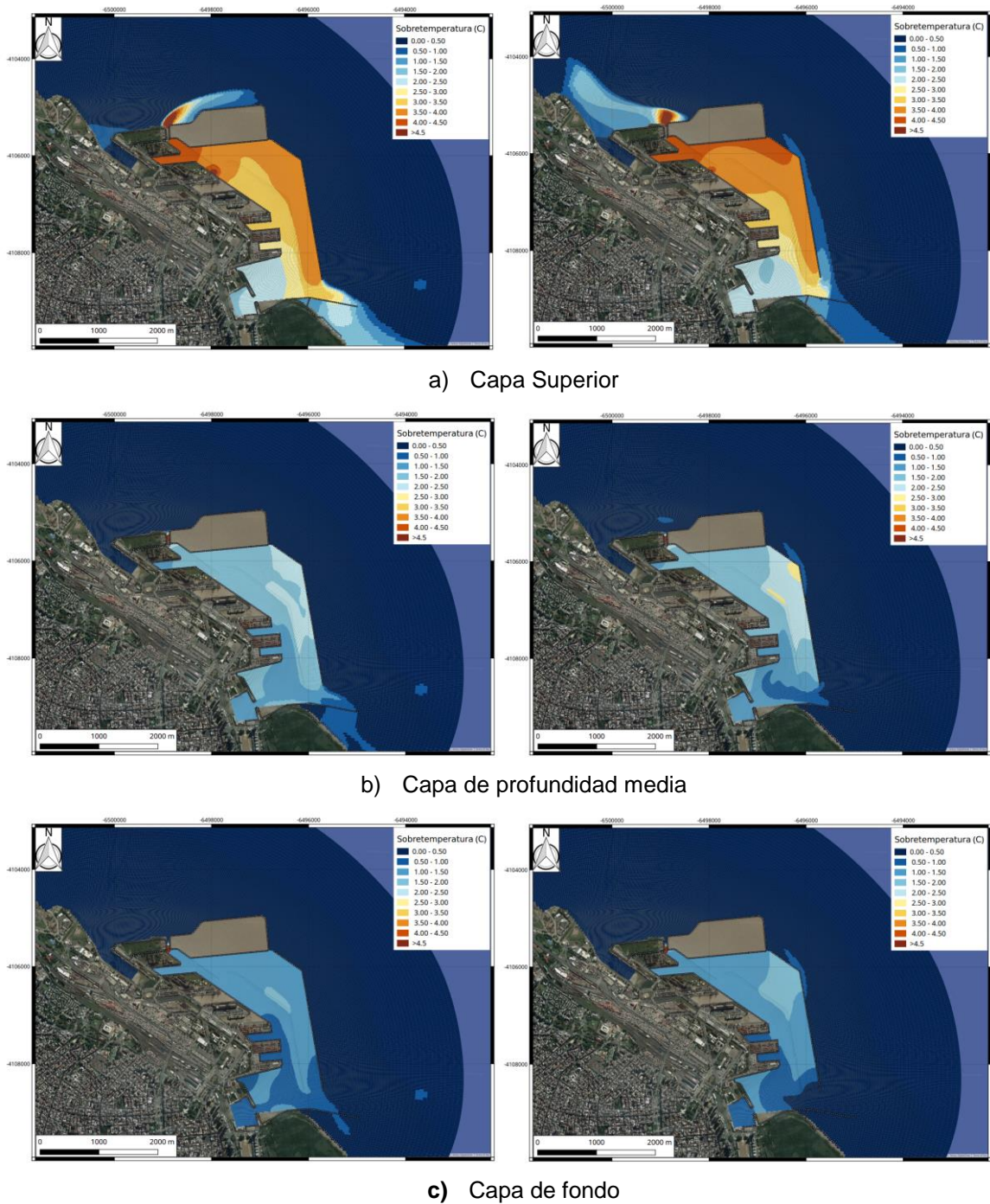


Figura 8.7. Distribución de sobretemperatura para el Escenario 7 (izq.: bajante; der.: creciente)

La Figura 8.8 presenta los resultados para el Escenario 15. Se observa que son cualitativamente similares a los del Escenario 7 (Figura 8.7), aunque con una caída de la sobretemperatura, que en el fondo llega a aproximadamente $0,5^{\circ}\text{C}$, lo cual se explica por una mayor extensión del recinto portuario.

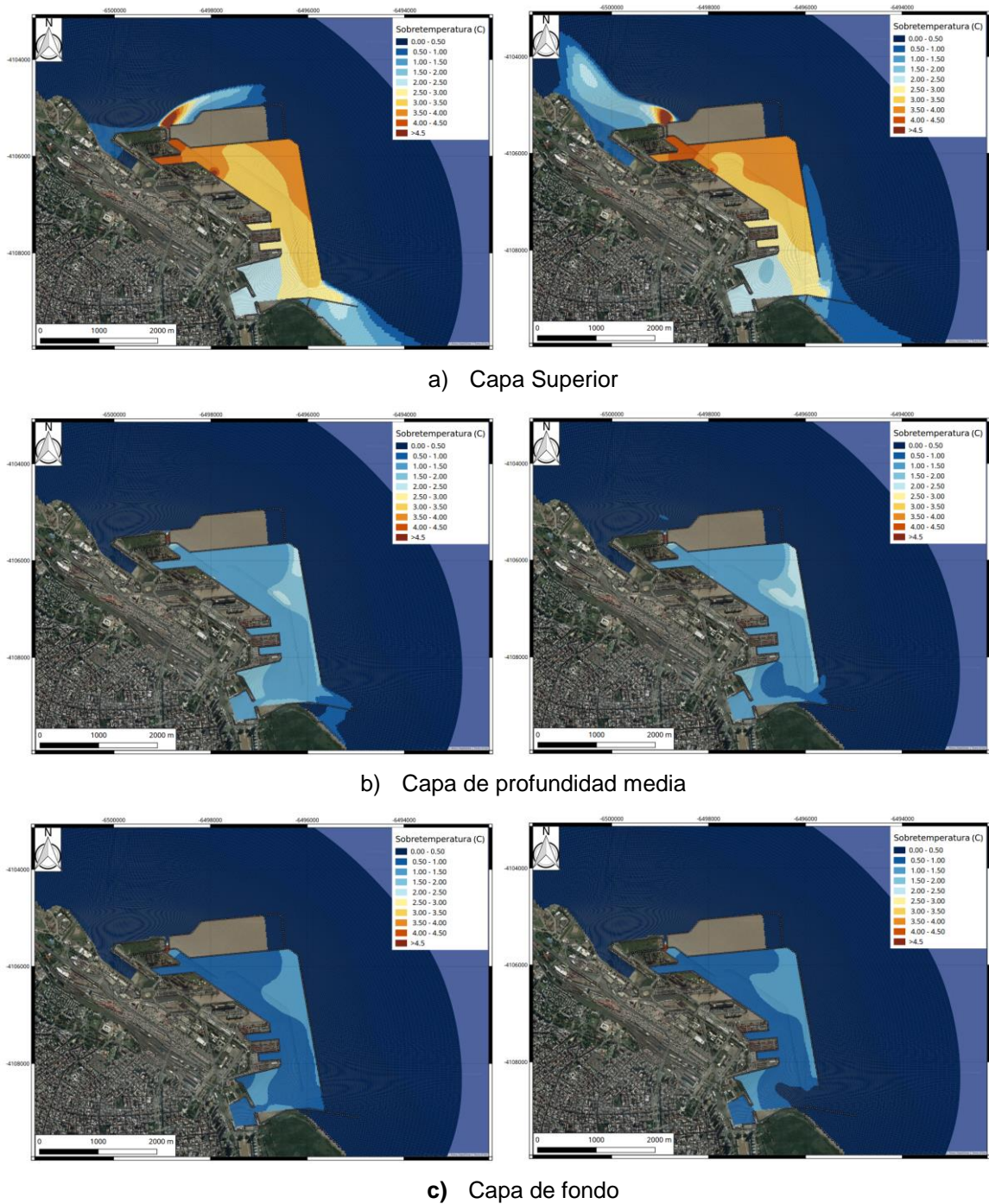


Figura 8.8. Distribución de sobrettemperatura para el Escenario 15 (izq.: bajante; der.: creciente)

Adicionalmente, se incluyó el escenario 4 para evaluar los efectos de una posible Boca Falsa. Los resultados (Figura 8.9) muestran una caída aún mayor de las sobrettemperaturas, que ahora no superan los 3,0°C en superficie y 1,0°C en el fondo. Esto se debe al flujo de agua fresca que proviene de la Boca Falsa.

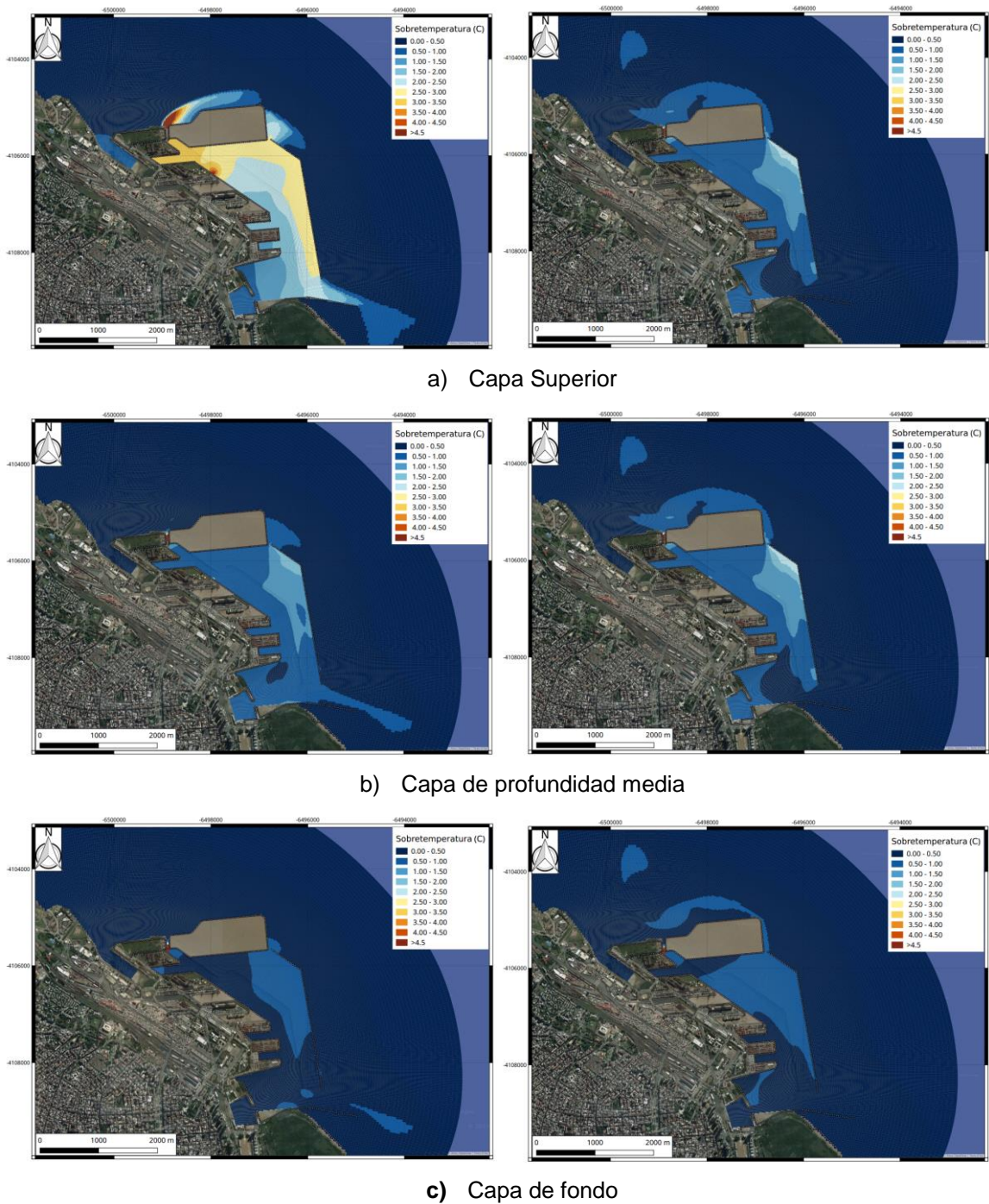


Figura 8.9. Distribución de sobretemperatura para el Escenario 4 (izq.: bajante; der.: creciente)

8.4 Estratificación térmica

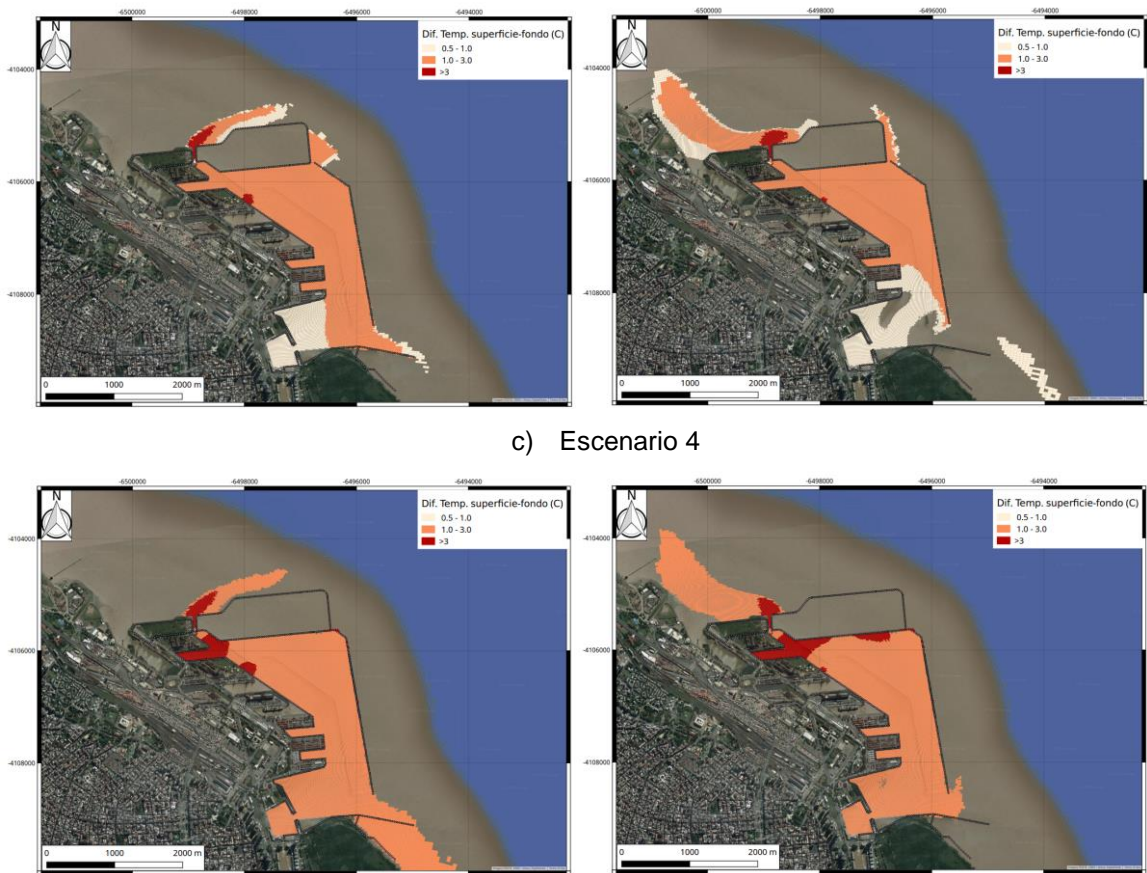
Como un indicador de la estratificación térmica, se calculó la diferencia de temperatura entre la capa de superficie y la de fondo. La Figura 8.10 muestra los resultados correspondientes a los escenarios analizados, donde se han distinguido tres umbrales de salto térmico, a saber, 0,5°C, 1°C y 3°C, que establecen una zona sin estratificación (diferencia < 0,5°C), una con baja estratificación (diferencia entre 0,5°C y 1°C), una con estratificación moderada (diferencia entre 1°C y 3°C) y una con estratificación significativa (> 3°C). Se observa que, mientras que para la configuración actual la estratificación térmica desaparece más allá de la boca falsa debido al efecto de refresco, en el caso de los escenarios futuros básicamente todo el recinto portuario estará estratificado, salvo en la zona del Antepuerto durante la creciente. De todos modos, en los escenarios futuros disminuye fuertemente la extensión de la zona de estratificación significativa, prácticamente desapareciendo para el escenario 4 por la presencia de la boca falsa.



a) Configuración actual



b) Escenario 7

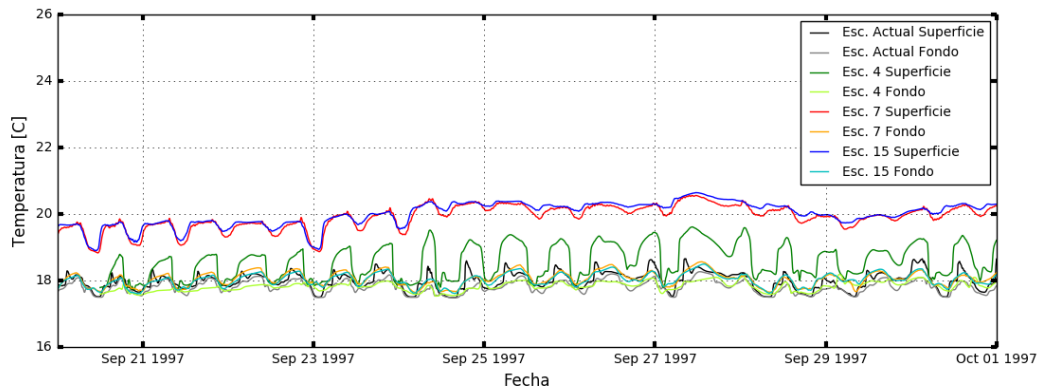


c) Escenario 4

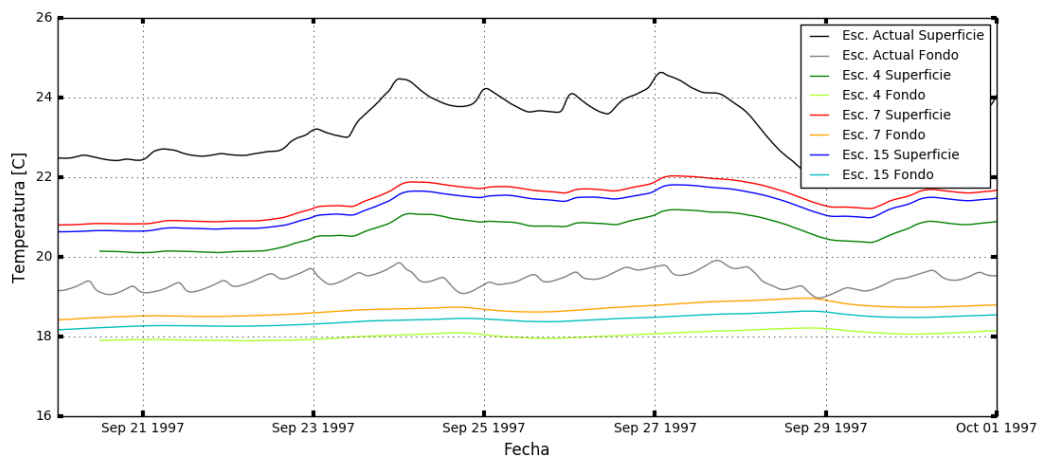
d) Escenario 15

Figura 8.10. Distribución de diferencia de temperatura entre superficie y fondo (izq.: bajante; der.: creciente)

Con el fin de evaluar la variabilidad temporal de la temperatura, en la Figura 8.11 se presentan las series temporales de temperatura para la capa superior y de fondo en el Canal de Acceso y la Dársena E, asociadas a los distintos escenarios de análisis. Se observa que la variabilidad es relativamente moderada. La máxima variabilidad se da en el Canal de Acceso para el escenario 15, con amplitudes del orden de 1°C.



a) Canal de Acceso

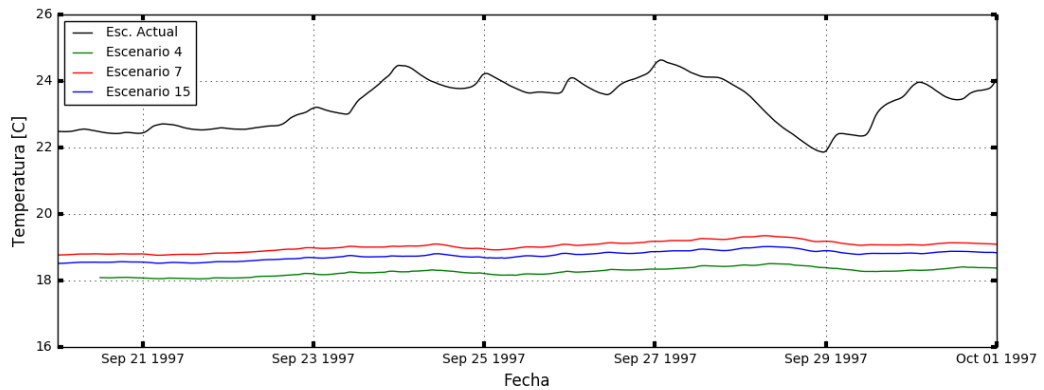


b) Dársena E

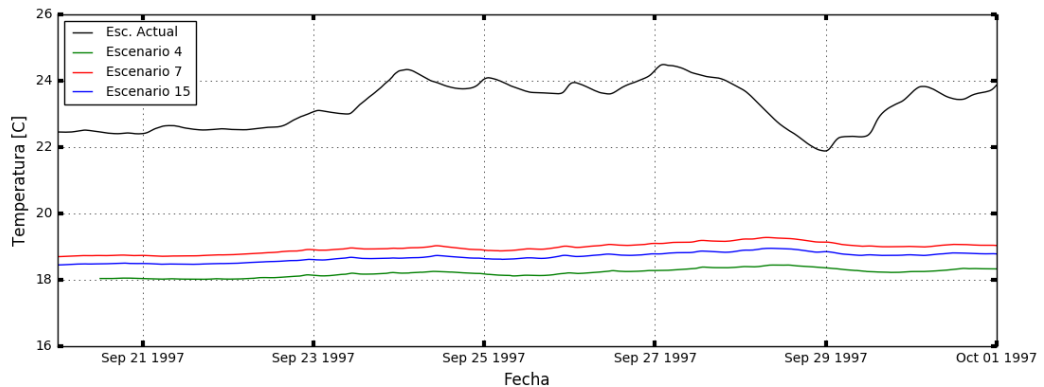
Figura 8.11. Series temporales de temperatura

8.5 Tomas de agua

La Figura 8.12 presentan las series temporales de temperatura en las tomas de agua de las centrales térmicas para la condición actual y los escenarios futuros. Se observa que, en todos los casos, los escenarios futuros muestran temperaturas significativamente menores, con diferencias respecto de la situación actual que no bajan de 4°C, siendo el Escenario 4 el de mejor performance en cuanto a menores temperaturas. Las sobretemperaturas en las tomas de agua son de entre 3,5°C y 5°C para las condiciones actuales, y de entre 1°C y 2,5°C para los escenarios 4, 7 y 15.



a) Toma CPN (Estación E5)



b) Toma CPN (Estación E6)

Figura 8.12. Series temporales de temperatura en las tomas de agua

En la Figura 8.13 se representa la correlación entre las temperaturas en las obras de toma de las dos centrales térmicas y en la descarga de la CPN para la situación actual y para el escenario 4. Se observa que en la situación actual la temperatura en las tomas se incrementa con el aumento de la temperatura de la descarga, aunque a un ritmo mucho menor. En cambio, para el escenario 4 la temperatura en las tomas prácticamente permanece invariable ante los cambios de temperatura en la descarga. Esta relativa insensibilidad, explicada por la relajación del confinamiento que el puerto actual impone en la zona de la descarga, constituye una ventaja adicional del proyecto portuario.

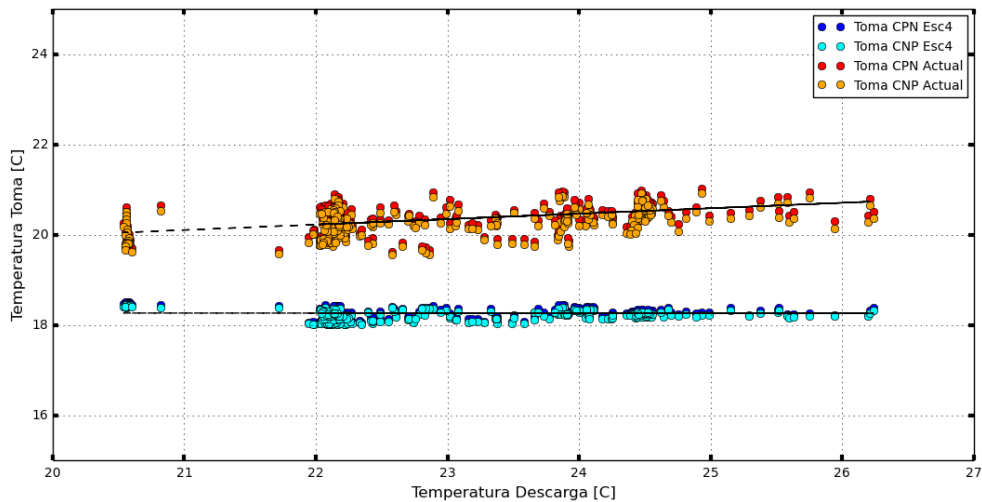


Figura 8.13 Relación entre la temperatura en la toma de agua y en la descarga de las centrales térmicas para la situación actual y el escenario 4.

8.6 Cambio en las condiciones ambientales

La descarga de agua sobrecalentada genera dos efectos sobre el agua ambiente:

- La sobretemperatura respecto del río impacta sobre la biota.
- La estratificación térmica puede potencialmente impactar sobre la calidad del agua de la capa inferior.

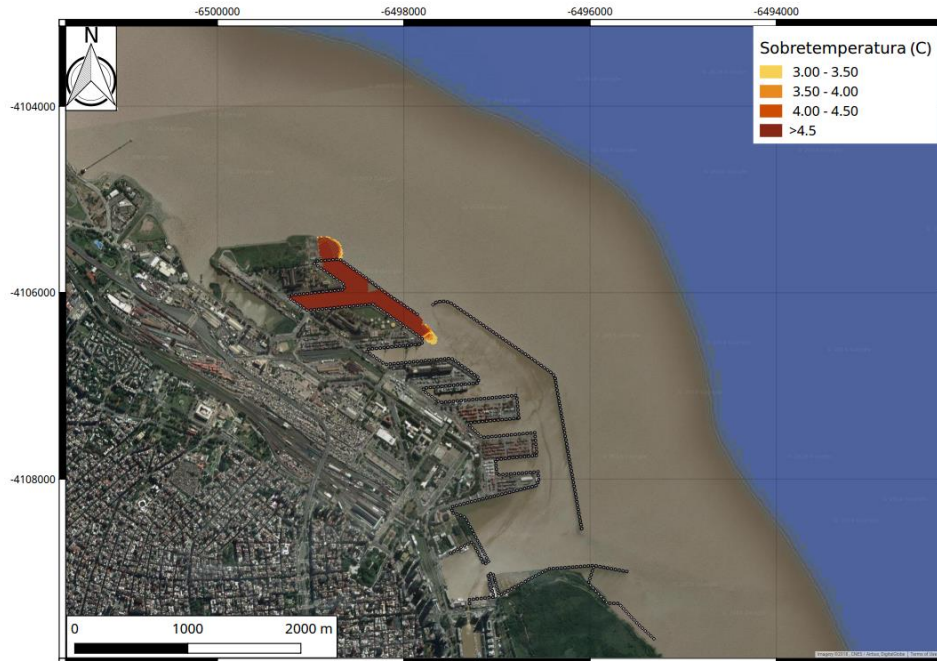
8.6.1 Sobretemperatura

Según criterios internacionales relacionados a descargas térmicas, se recomienda que la sobretemperatura máxima respecto de la del río no supere los 3°C, de modo de proteger las especies biológicas más sensibles (contemplando peces, plancton, organismos bénticos, etc.)¹⁶.

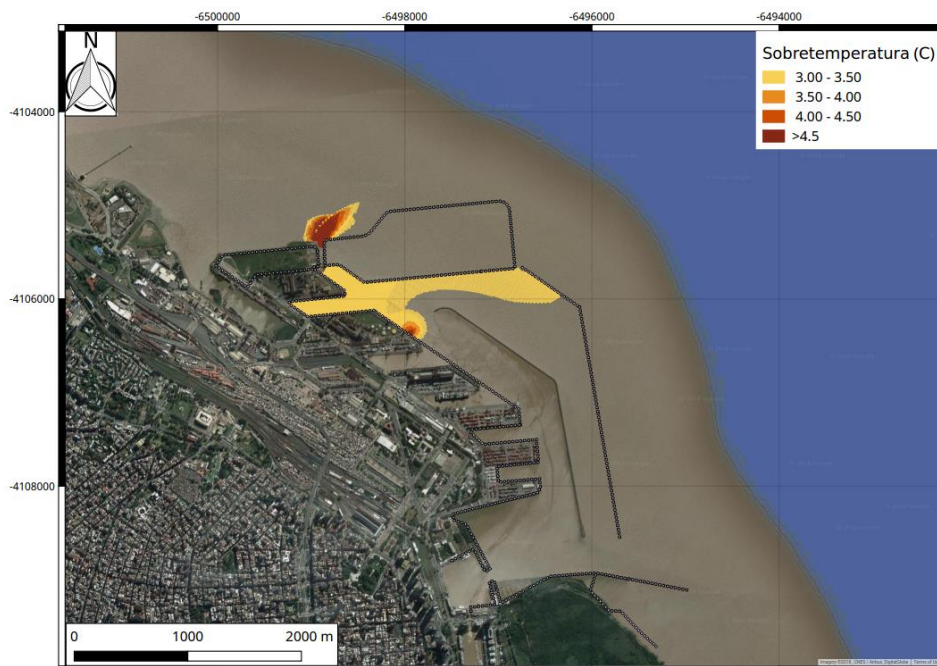
Para el presente problema se analizó la verificación de este criterio en relación a la descarga hacia el exterior proveniente de la CNP, dado que el interior portuario ya se encuentra comprometido en la calidad del agua por otros factores.

Los resultados del modelo muestran que el valor umbral de 3°C sólo se ve superado en una relativamente pequeña zona (Figura 8.14), de aproximadamente 250 m de radio para la situación actual, que se alarga a alrededor de 500 m para los escenarios futuros.

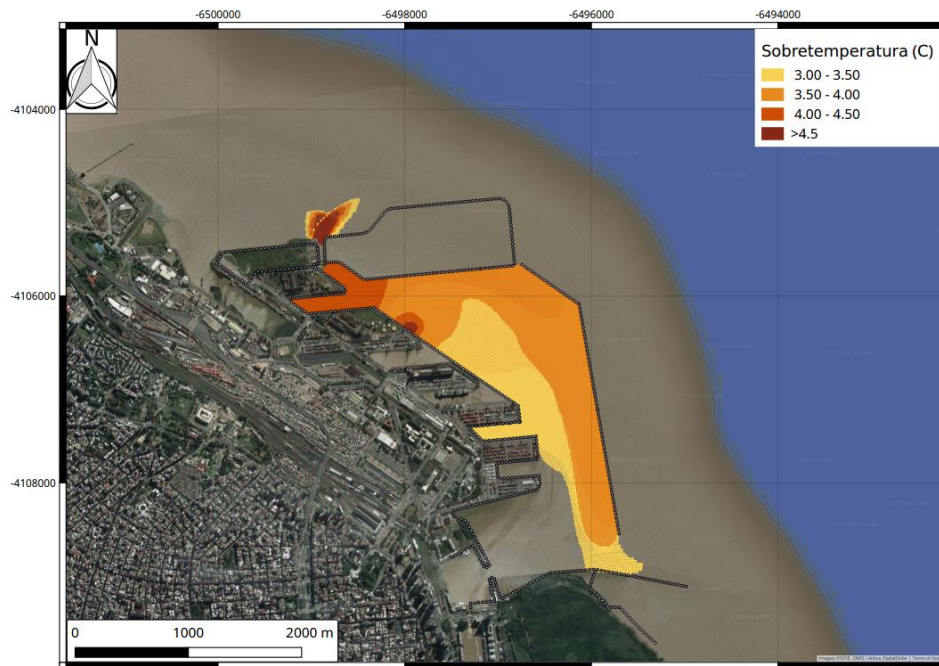
¹⁶ Thermal standards for cooling water from new build nuclear power stations. British Energy Estuarine & Marine Studies. Scientific Advisory Report Series 2011 no. 008



a) Configuración actual



b) Escenario 4



c) Escenario 7



d) Escenario 15

Figura 8.14. Zona de sobrettemperatura mayor a 3°C en la capa superior.

8.6.2 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. De todos modos, las implicancias ambientales de esta limitación son relativas en el interior portuario, ya sujeto a múltiples solicitaciones que comprometen la calidad del agua.

9 PLUMA DE TURBIDEZ

9.1 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 9.1, de modo que el principal objetivo del presente análisis es cuantificar ese impacto.



Figura 9.1. Ubicación de tomas de agua de AySA.

9.2 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 (capítulo 5). 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-Allen¹⁷. 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.¹⁸.

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.

9.3 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.

¹⁷ Allen, C.M., 1982. Numerical simulation of contaminant dispersion in estuary flows. Proc. R. Soc. London, A381, pp. 179-194.

¹⁸ 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 9.2). Se calculó la amplitud de cada onda desde bajamar hasta pleamar (marea creciente), con el objetivo de caracterizar estadísticamente las situaciones de reflujos, que son las que podrían generar plumas de turbidez que alcancen la toma de agua.

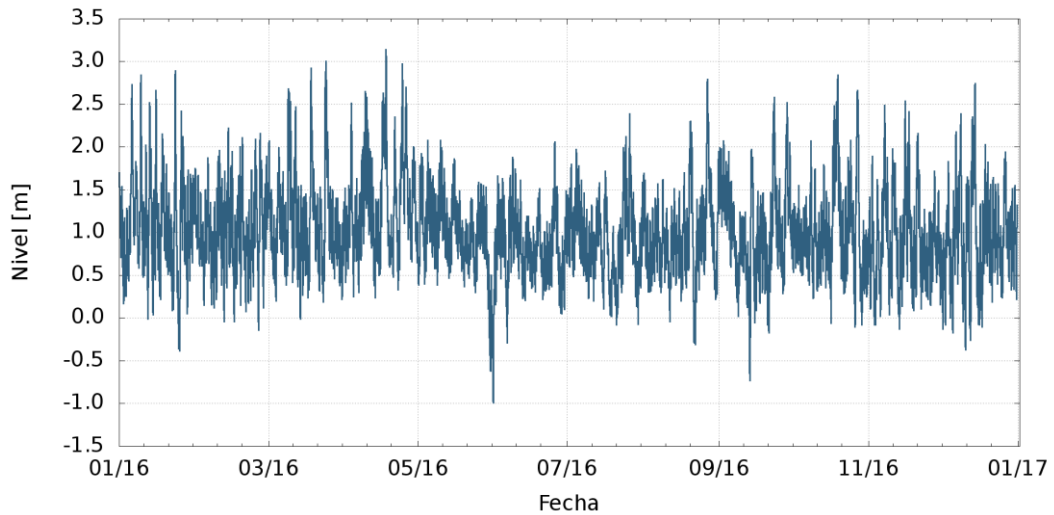


Figura 9.2. Niveles en el Río de la Plata en Buenos Aires.

En la Figura 9.3 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 9.1 y la Tabla 9.2 presentan los valores de los parámetros estadísticos.

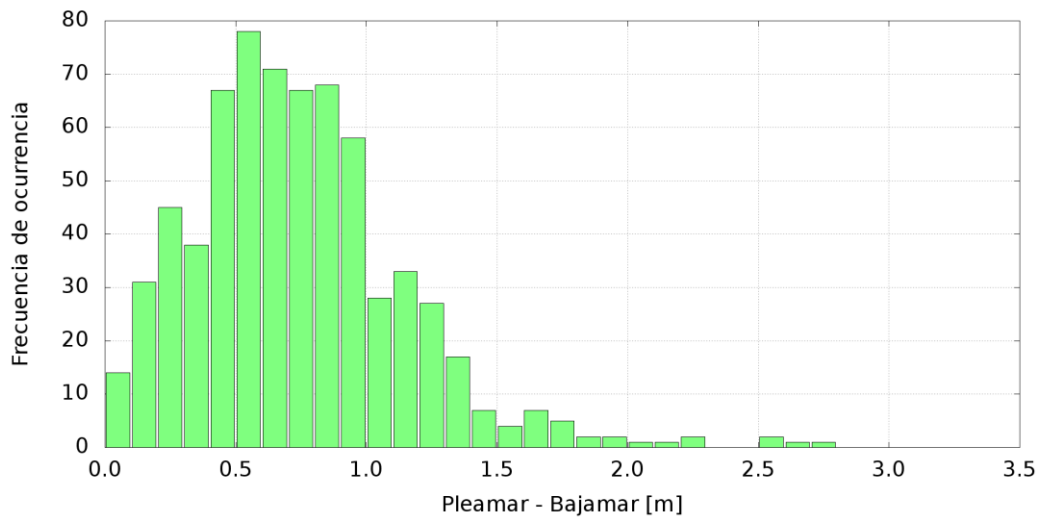


Figura 9.3. Frecuencia de ocurrencia de amplitudes de marea creciente.

Tabla 9.1. 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 9.2. 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		

9.4 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, Item 3.2). Se trata de condiciones normales ocurridas comenzando el 19 de mayo de 2000. En la Figura 9.4 se representan los niveles de marea y las velocidades de corriente asociadas.

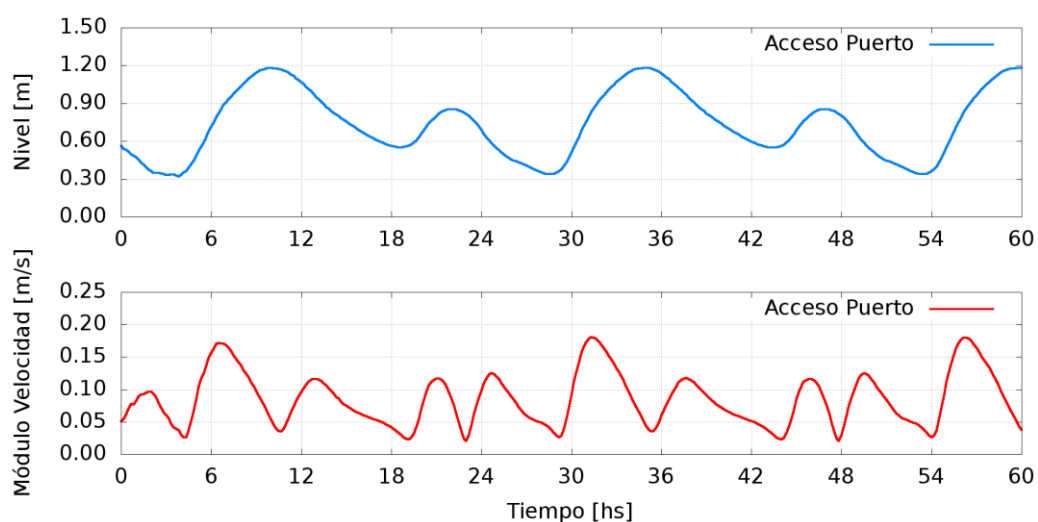


Figura 9.4. Condiciones hidrodinámicas para el escenario de simulación.

Se establecieron dos instantes de descargas instantáneas (Figura 9.5): 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 9.3, se trata de una amplitud relativamente alta, superada sólo el 30% del tiempo.

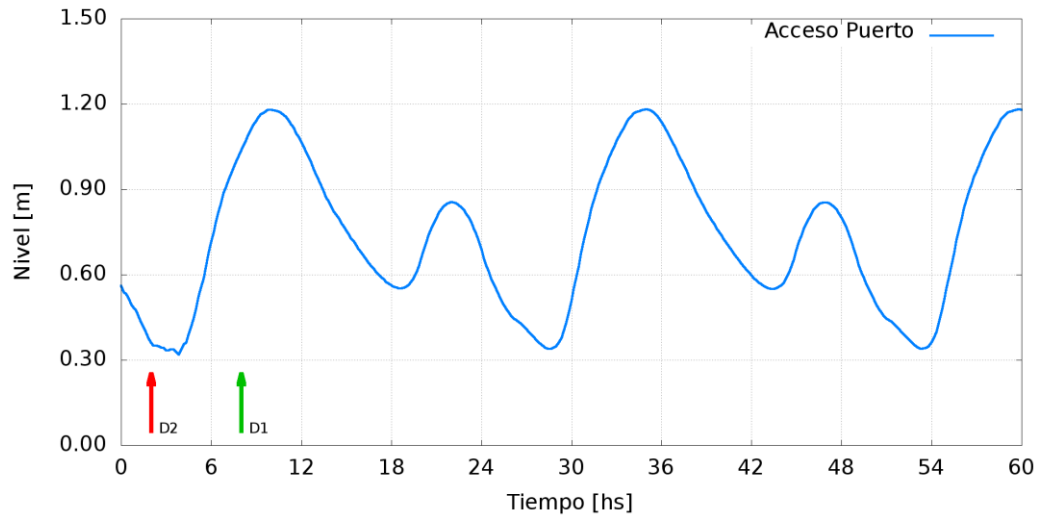
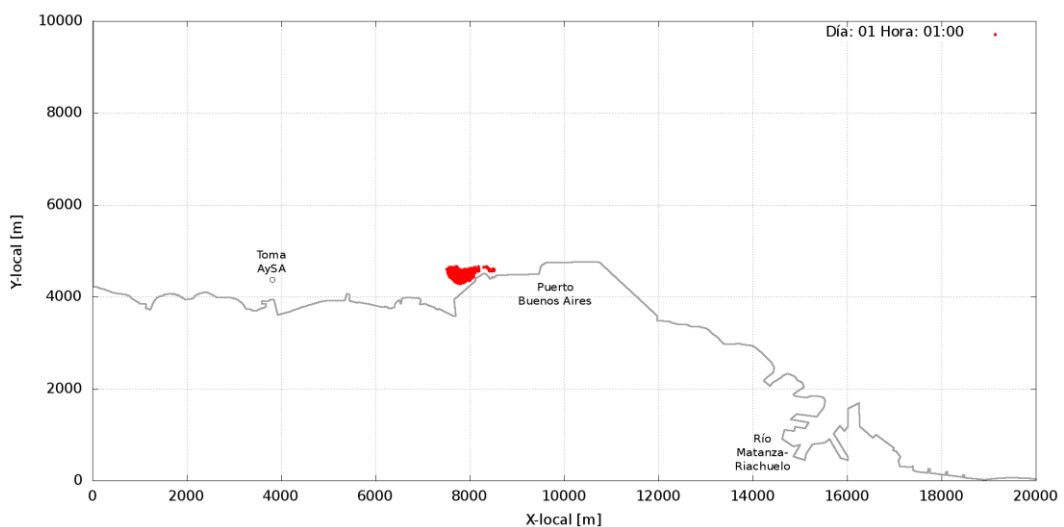


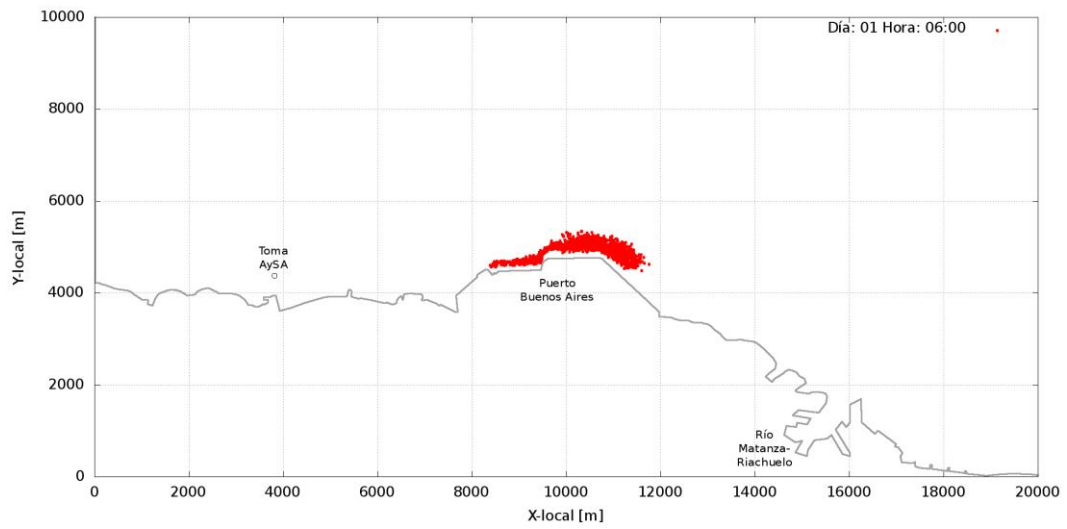
Figura 9.5. Instantes de descargas instantáneas.

9.5 Resultados

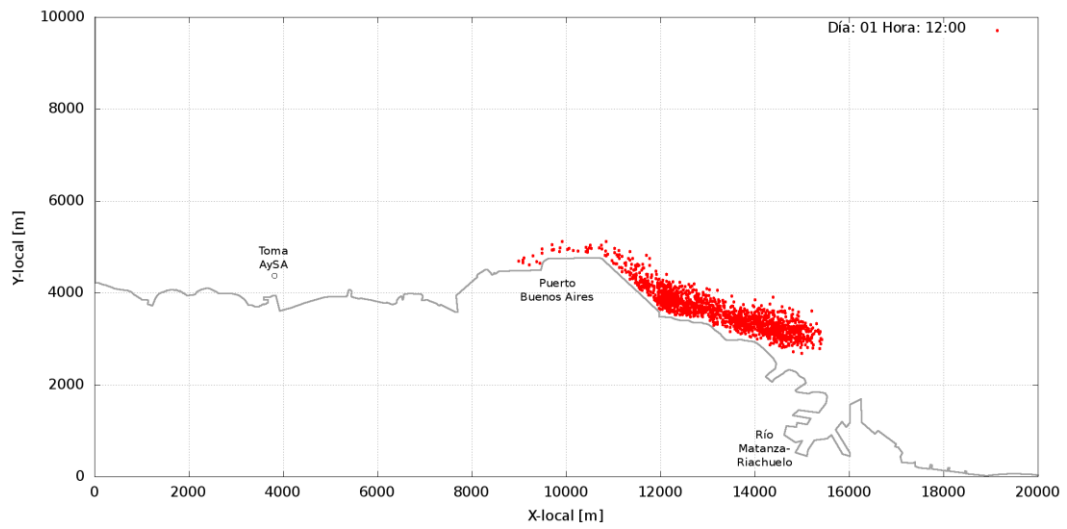
En la Figura 9.6 muestra la evolución de la pluma para la descarga D1. Como era de esperarse, esta tiende a desarrollarse hacia el Océano, de modo que no constituye una amenaza para la toma de agua. La situación más crítica se da a la hora 03:00 del segundo día, pero la partícula más cercana se encuentra a alrededor de 2000 m.



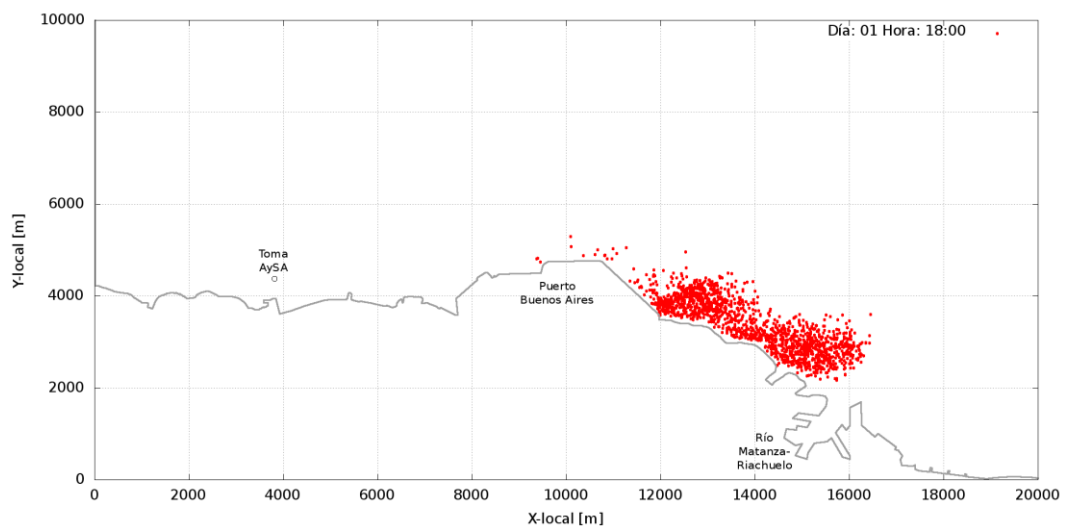
a) Día 1 Hora 01:00



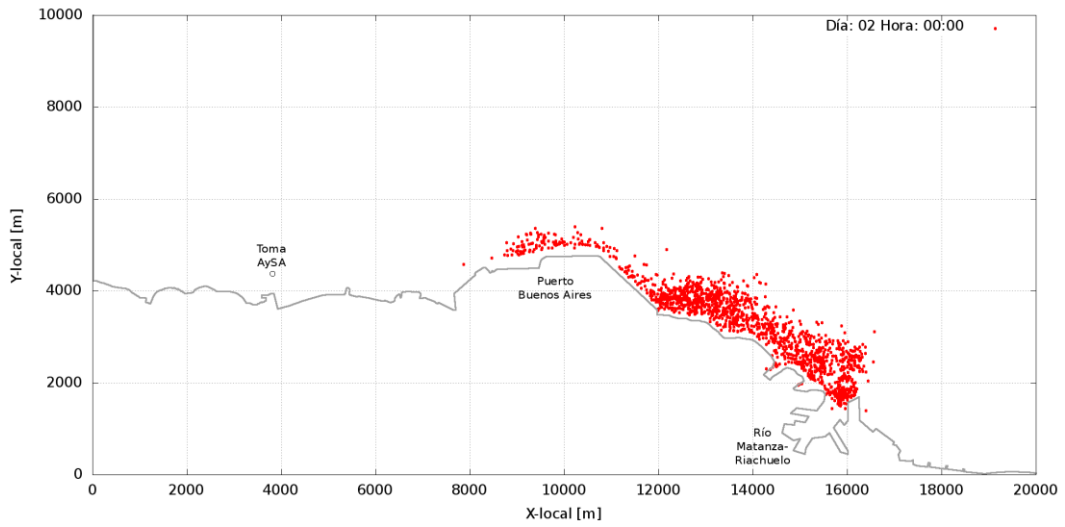
b) Día 1 Hora 06:00



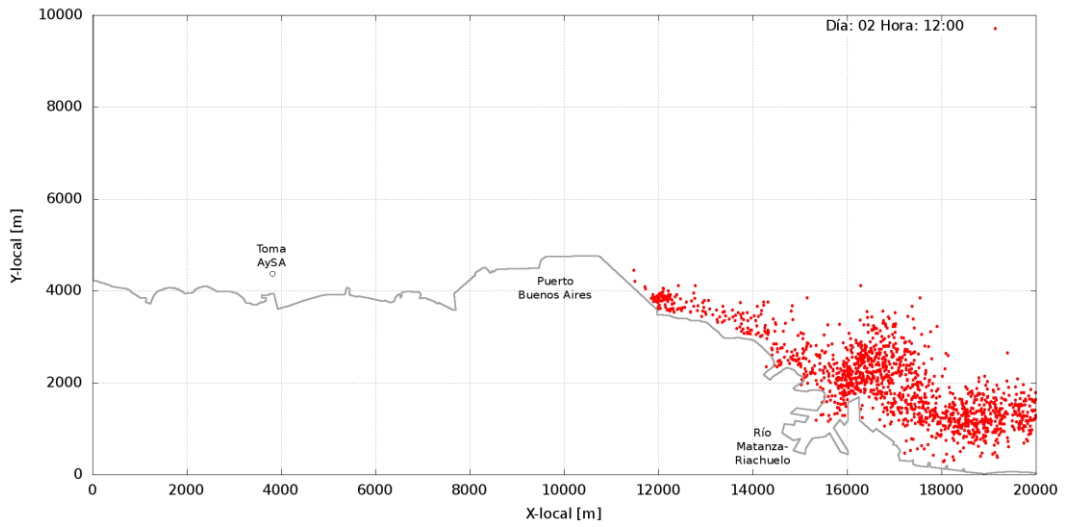
c) Día 1 Hora 12:00



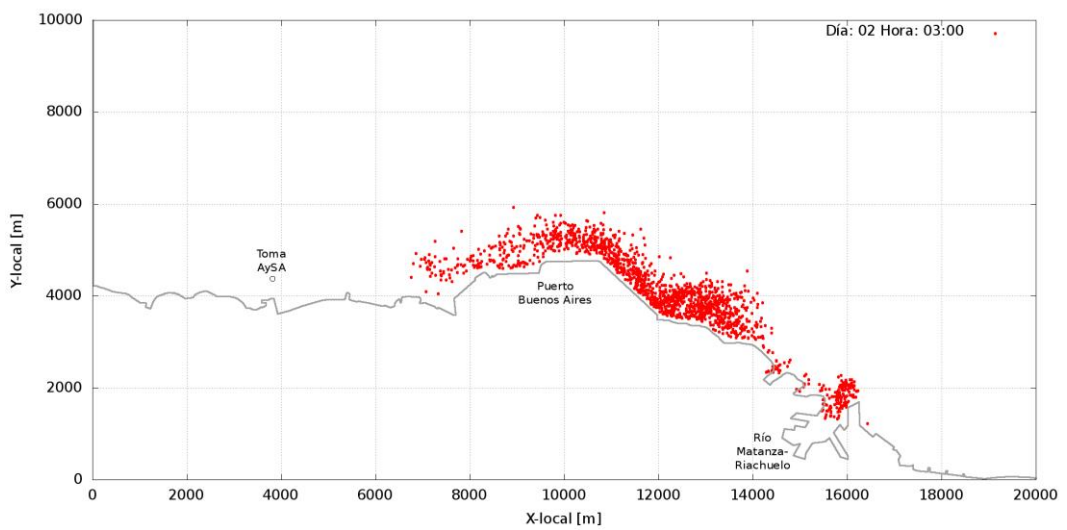
d) Día 1 Hora 18:00



e) Día 2 Hora 00:00



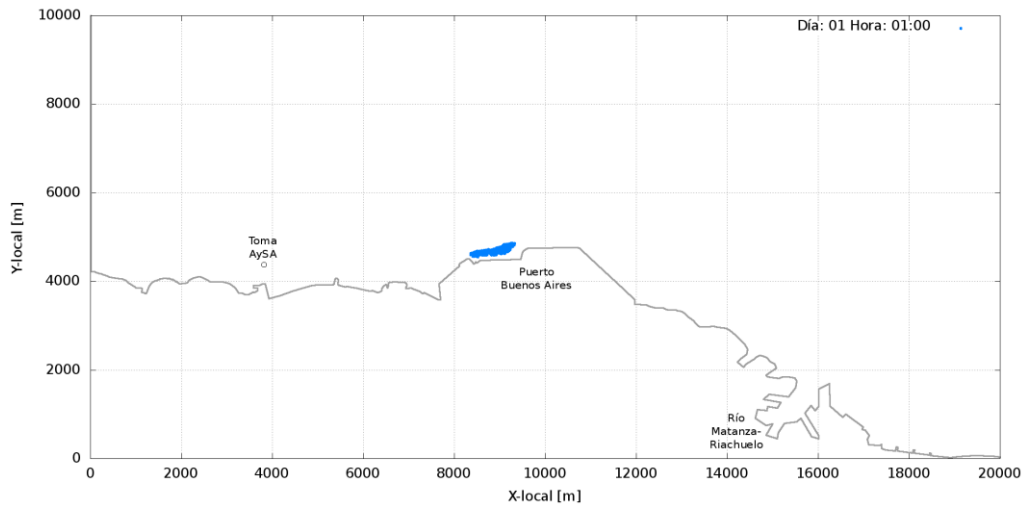
f) Día 2 Hora 00:00



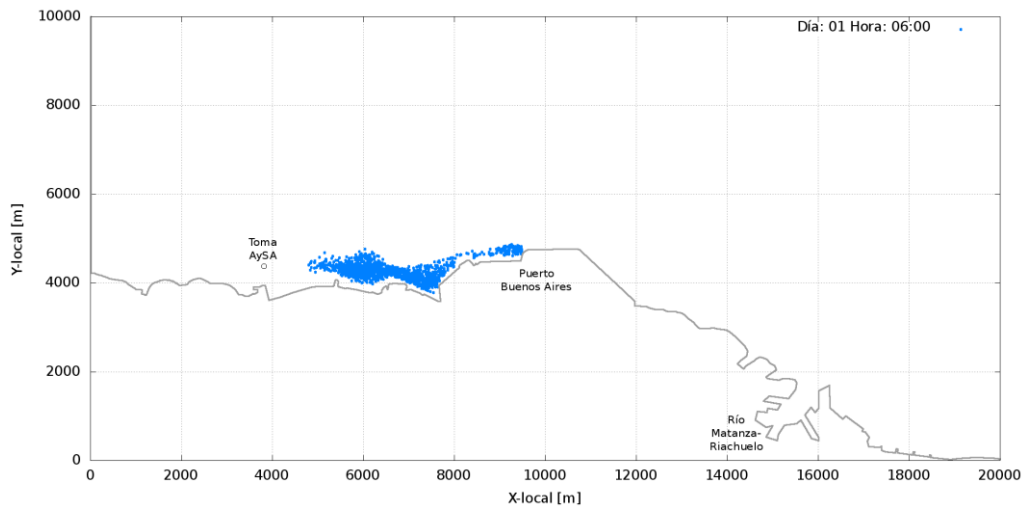
g) Día 2 Hora 03:00

Figura 9.6. Evolución de la pluma de turbidez para la descarga instantánea D1.

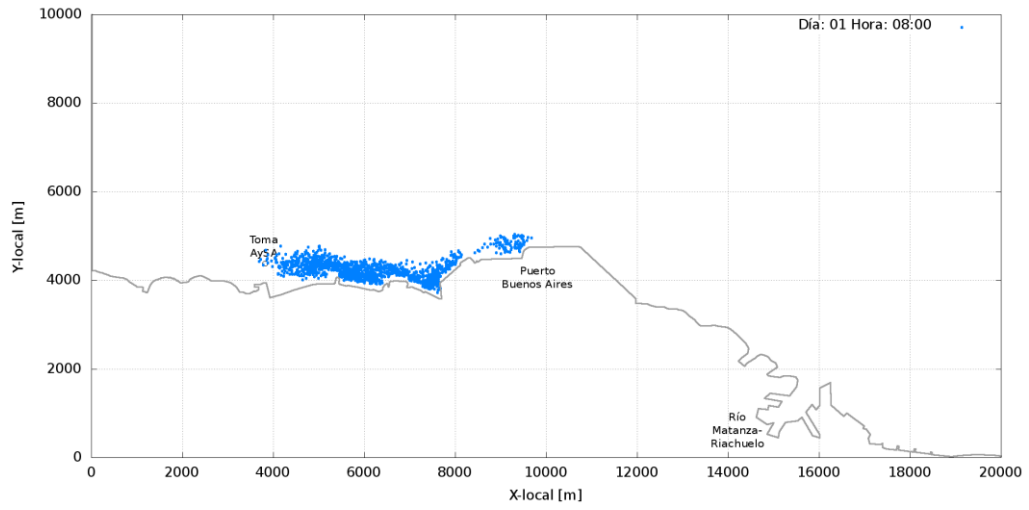
La Figura 9.7 presenta la evolución de la pluma para la descarga D2. Se observa que la pluma de turbidez alcanza la toma en dos ocasiones durante las 48 horas de simulación, siendo las situaciones más críticas a las 08:00 horas de primer día, y las 07:30 horas del segundo día.



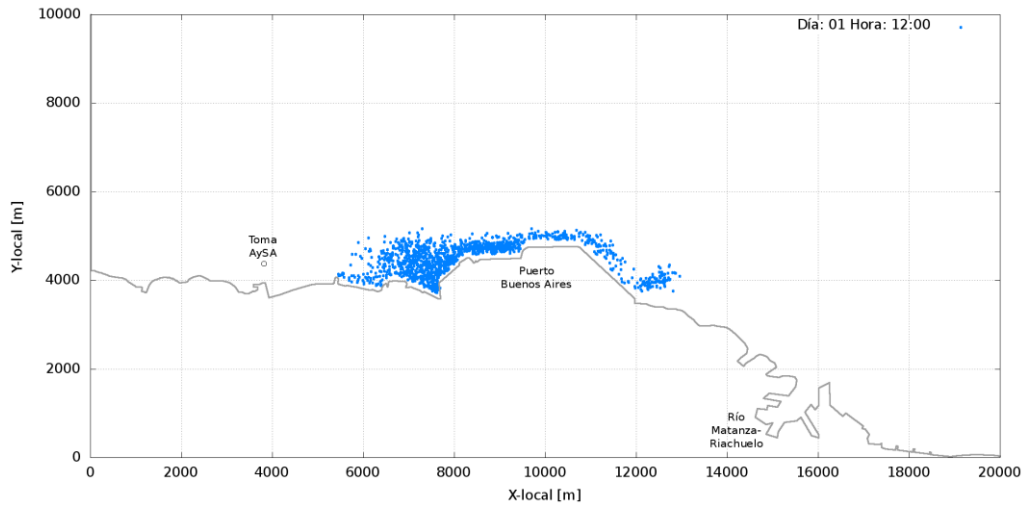
a) Día 1 Hora 01:00



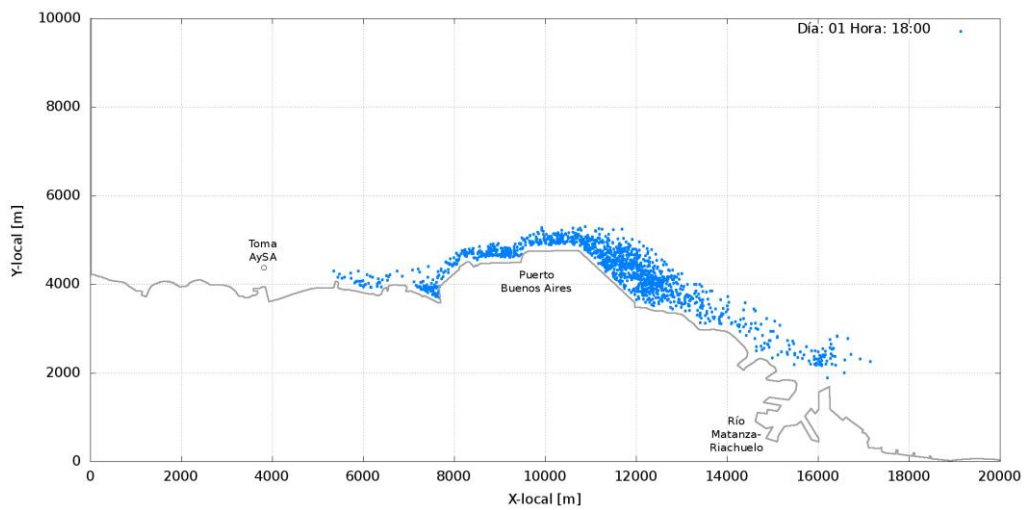
b) Día 1 Hora 06:00



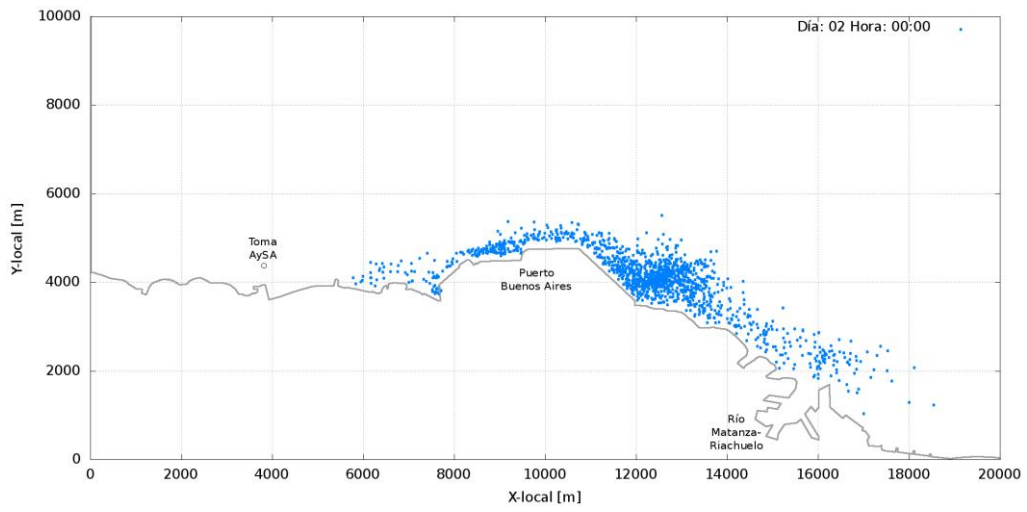
c) Día 1 Hora 08:00



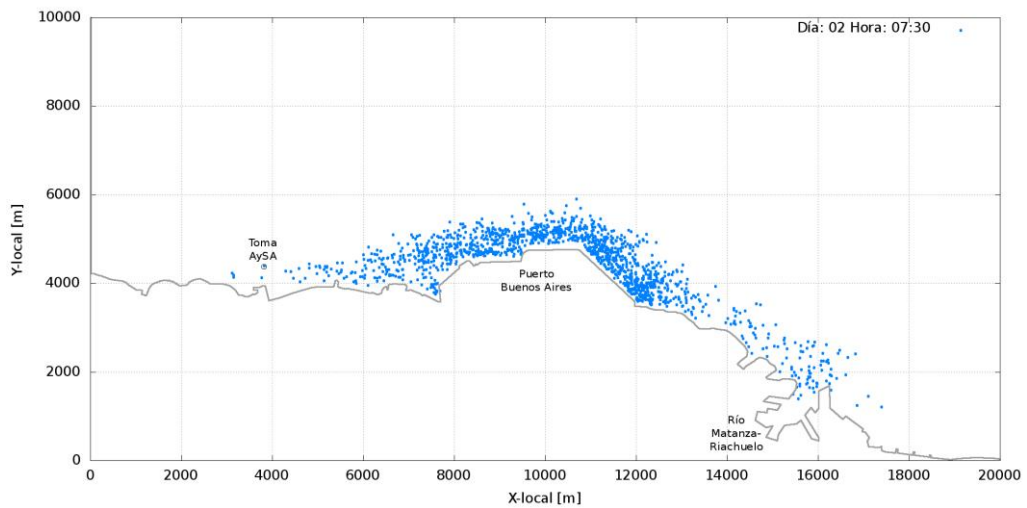
d) Día 1 Hora 12:00



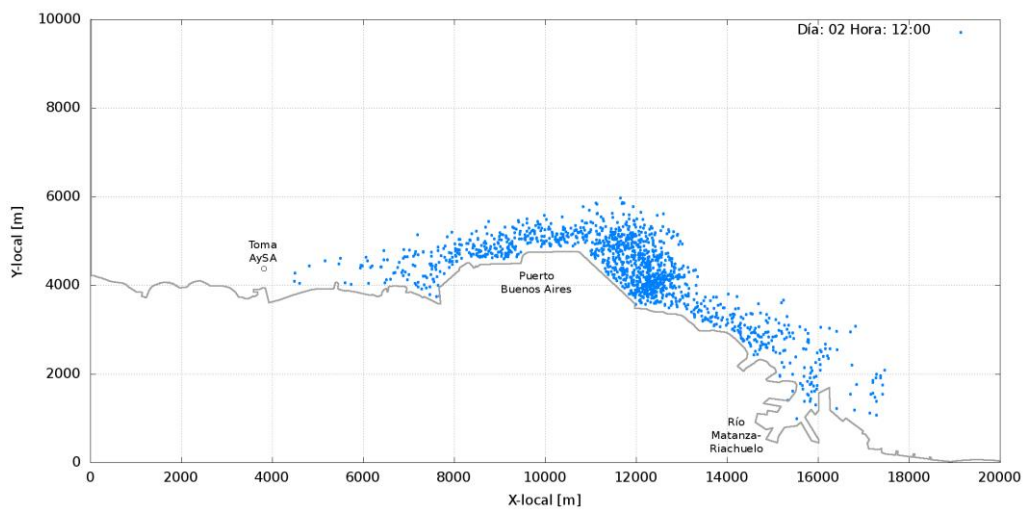
e) Día 1 Hora 18:00



f) Día 2 Hora 00:00



g) Día 2 Hora 07:30



h) Día 2 Hora 12:00

Figura 9.7. Evolución de la pluma de turbidez para la descarga instantánea D2.

En la Figura 9.8 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.

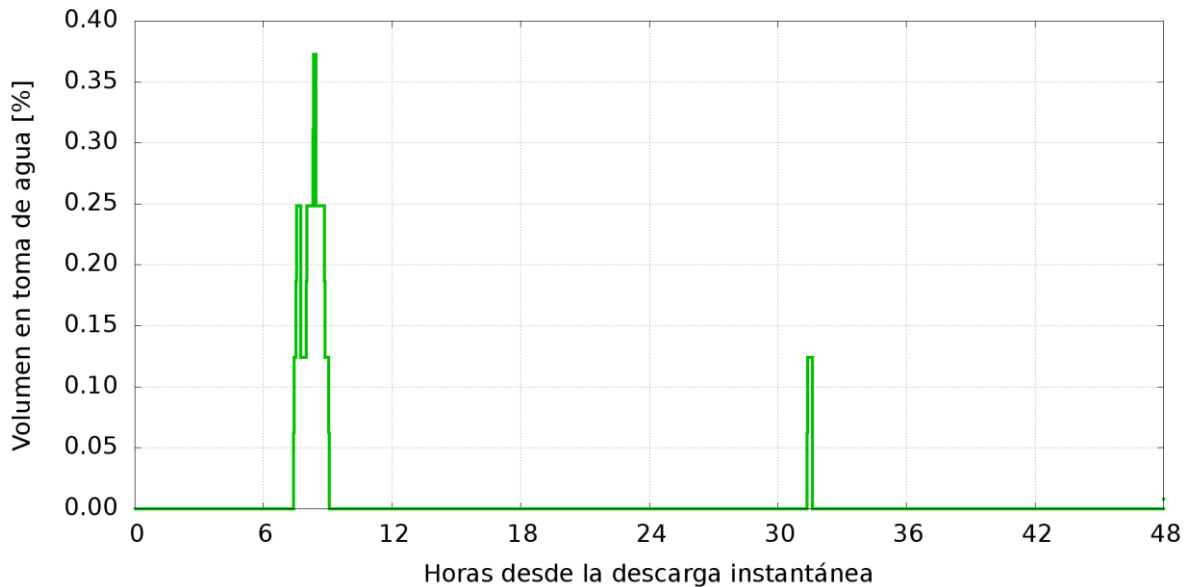


Figura 9.8. Fracción de masa recibida en la zona de la toma de agua.

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 m³.
- 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 m³.
- Se estimó una densidad seca de 1040 kg/m³, 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 m² (caja receptora) y la profundidad media del orden de 4 m, con lo que el volumen de análisis resulta de 57.600 m³.
- 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.

10 TIEMPO DE RESIDENCIA

10.1 Planteo del problema

El tiempo de residencia del agua dentro del recinto portuario es un indicador de la calidad del agua esperable. Para estimarlo se implementó una metodología de cálculo basada en los caudales entrantes a través de las diferentes bocas. Se partió de una condición inicial con las aguas del puerto conteniendo una concentración uniforme de un contaminante pasivo y conservativo, y se supuso que el agua ingresante siempre lo hace a concentración nula. Luego de cada paso de tiempo Δt la concentración media disminuye en un factor $(1-r)$, donde r es el cociente entre el volumen de agua ingresado y el volumen total de agua contenido en el puerto. El primero se calcula integrando el caudal ingresante por cada una de las bocas provisto por el modelo hidrodinámico, mientras que el segundo se obtiene acumulativamente a partir del valor inicial. Se adoptó como representativo del tiempo de residencia aquel para el cual la concentración cae al 10% de su valor inicial¹⁹.

10.2 Situación actual

En la Figura 10.1 se muestra la evolución de la concentración en el puerto, relativa a su valor inicial, en función del tiempo. Se observa que el tiempo de renovación resulta de aproximadamente 2 días (47 horas).

¹⁹ Menéndez, A. N. (1997), Estudio del Impacto de Obras de Dragado y Relleno en el Puerto de Buenos Aires, Informe LHA-INA 01-157-97. Comitante: AGP

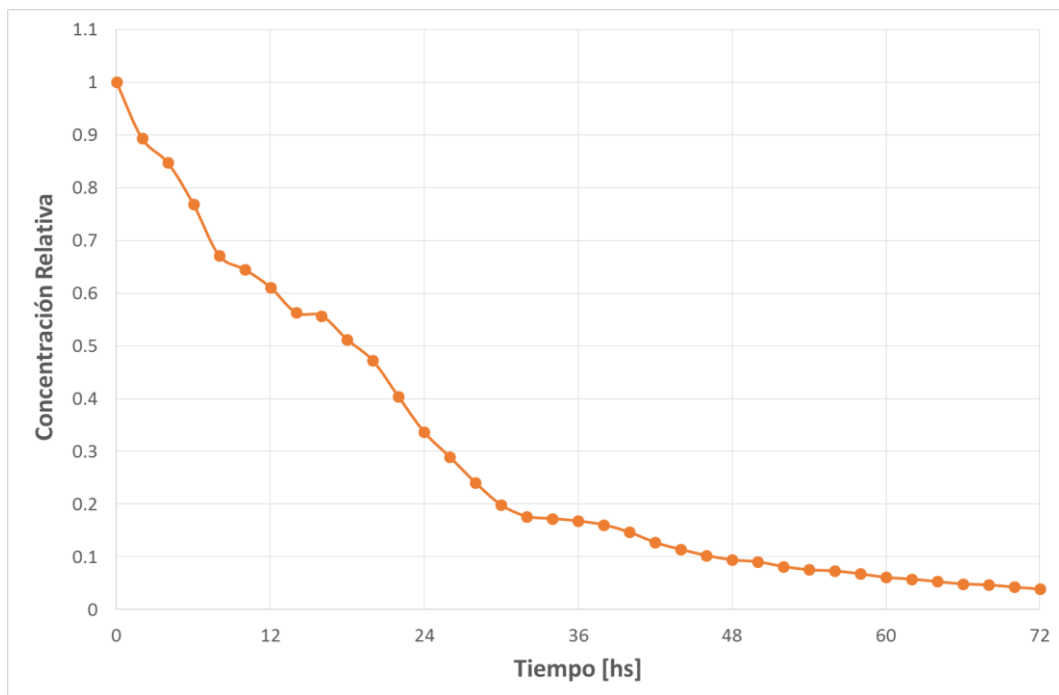


Figura 10.1. Evolución de la concentración en el puerto, relativa a su valor inicial.

10.3 Escenarios Futuros

Se procedió a estimar los tiempos de residencia para todos los escenarios analizados en relación a la sedimentación:

- *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.
- *Escenarios 7 y 15:* Estos escenarios son los que presentan menores volúmenes de sedimentación. La configuración de estos escenarios no tiene boca falsa, tiene la escollera modificada, la obra de abrigo sur sin extender y un relleno de 1200 m (Escenario7) y un relleno de 1500 m (Escenario 15).

Los resultados se presentan en la Tabla 10.1 y la Figura 10.2, donde también se incluyen los

valores correspondientes a la configuración actual como referencia. Se observa que:

- Los tiempos de residencia en todos los escenarios futuros son mayores que en la configuración actual del Puerto, tal cual era de esperarse por su mayor extensión.
- Los escenarios futuros que no presentan una boca falsa son los que tienen los mayores tiempos de residencia. Estos son de 9 a 10 veces mayores que el tiempo de residencia actual. En particular, el Escenario 2 es el que presenta el mayor tiempo de residencia, del orden de los 20 días.
- La presencia de la boca falsa disminuye significativamente los tiempos de residencia. Los escenarios que la incluyen presentan tiempos de renovación que son del orden de 5 veces el tiempo actual.
- La extensión de la obra de abrigo Sur y la modificación del extremo sur de la escollera generan aumentos en los tiempos de residencia.
- Los Escenarios 1 y 5 son los que menores tiempos de residencia presentan (casi 9 días).

Tabla 10.1. Tiempos de residencia para los diferentes escenarios analizados

Escenarios	Tiempo Residencia [horas]	Tiempo Residencia [días]	Tiempo Residencia relativo al Actual [-]
Esc. Actual	47	1.9	1.0
Esc. 01	209	8.7	4.5
Esc. 02	471	19.6	10.1
Esc. 03	448	18.7	9.6
Esc. 04	214	8.9	4.6
Esc. 05	208	8.7	4.5
Esc. 07	423	17.6	9.1
Esc. 09	234	9.7	5.0
Esc. 15	421	17.5	9.0

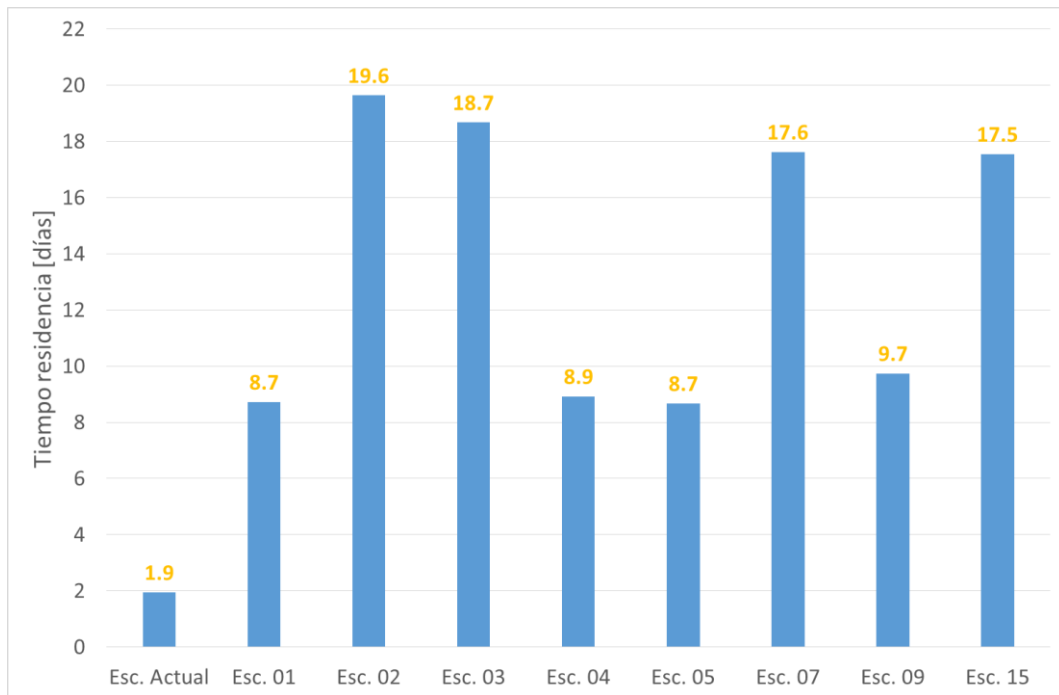


Figura 10.2. Tiempos de residencia para los diferentes escenarios analizados.

11 CONCLUSIONES

Las siguientes son las principales conclusiones del estudio.

Sobre agitación:

- 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.
- La Dársena A puede verse comprometida por la incidencia de las sudestadas para el caso de la configuración E7. Esta agitación se atenuaría fuertemente si se implementara una extensión del Malecón Sur mayores a 220 m.

Sobre impacto hidráulico:

- 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.

Sobre la hidrodinámica del puerto:

- 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.

Sobre sedimentación en el puerto:

- Los volúmenes de sedimentación esperados para las dársenas A, B, E, la Terminal 6 y el Canal de Pasaje son significativamente menores a las actuales para todos los escenarios. La mayor reducción se da para el Escenario 3, en el que se elimina la Boca Falsa y se modifica el extremo sur de la escollera.
- Los escenarios futuros presentan un mayor volumen sedimentado sobre el Canal de Acceso. El menor volumen en los escenarios futuros se obtiene para el Escenario 5, en el cual no se extiende la obra de abrigo Sur.
- Los Escenarios 1, 4, 5 y 9 presentan volúmenes anuales sedimentados similares al actual.
- Por el contrario, los Escenarios 2 y 3 muestran volúmenes significativamente menores al del puerto actual, con reducciones del 32 y 37%, 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 Canal de Pasaje representan más del 70% 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.
- En las dársenas y en la Zona de Maniobras se observan los menores volúmenes sedimentados para las configuraciones que no poseen boca falsa (Escenarios 2 y 3).

- En el Canal de Pasaje los menores volúmenes de sedimentación se presentan con el esquema sin boca falsa y con la escollera modificada (Escenario 3).
- Si se analizan en conjunto la Zona de Maniobras y del Canal de Pasaje, 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).
- 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, es decir el Escenario 7 (para un relleno de 1200 m) y el Escenario 15 (para un relleno de 1500 m). Resultan volúmenes sedimentados menores a los del puerto actual.

Sobre las descargas térmicas en el puerto:

- Las distribuciones de sobretemperatura para la situación actual muestran relativamente altos valores (mayores a 4,0°C) en la capa superior, que disminuyen hacia el fondo, donde la sobretemperatura es menor a 2,5°C excepto en la dársena E. 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.
- Las distribuciones de sobretemperatura para el Escenario 7 muestran, para el interior portuario, valores menores que en el caso actual, sin superar los 4,0°C en superficie y 1,5°C en el fondo, siendo mayores en la zona norte del recinto portuario debido a la ubicación de la descarga. Los resultados de sobretemperatura para el Escenario 15 son cualitativamente similares a los del Escenario 7, aunque con una caída de la sobretemperatura, que en el fondo llega a aproximadamente 0,5°C, lo cual se explica por una mayor extensión del recinto portuario. El escenario 4 muestra una caída aún mayor de las sobretemperaturas, que ahora no superan los 3,0°C en superficie y 1,0°C en el fondo. Esto se debe al flujo de agua fresca que proviene de la boca falsa.
- Se construyó un indicador de la estratificación térmica, como la diferencia de temperatura entre la capa de superficie y la de fondo. Se han distinguido tres umbrales de salto térmico, a saber, 0,5°C, 1°C y 3°C, que establecen una zona sin estratificación (diferencia < 0,5°C), una con baja estratificación (diferencia entre 0,5°C y 1°C), una con estratificación moderada (diferencia entre 1°C y 3°C) y una con estratificación significativa (> 3°C). Para la configuración actual la estratificación térmica desaparece más allá de la boca falsa debido al efecto de refresco. En cambio, en el caso de los escenarios futuros básicamente todo el recinto portuario estará estratificado, salvo en la zona del Antepuerto durante la creciente. De todos modos, en los escenarios futuros disminuye fuertemente la extensión de la zona de estratificación significativa, prácticamente desapareciendo para el escenario 4 por la presencia de la boca falsa.
- La variabilidad temporal de la temperatura es relativamente moderada. La máxima variabilidad se da en el Canal de Acceso para el escenario 15, con amplitudes del orden de 1°C.
- Los escenarios futuros muestran temperaturas en las tomas de agua de las centrales térmicas significativamente menores que para el caso actual, con diferencias respecto de la situación actual que no bajan de 4°C, siendo el Escenario 4 el de mejor

performance en cuanto a menores temperaturas. Las sobretemperaturas en las tomas de agua son de entre 3,5°C y 5°C para las condiciones actuales, y de entre 1°C y 2,5°C para los escenarios 4, 7 y 15.

- Al contrario de la situación actual, en que la temperatura en las tomas de agua se incrementa con el aumento de la temperatura de la descarga de la CPN (aunque a un ritmo mucho menor), en el puerto proyectado la temperatura en las tomas prácticamente permanece invariable ante los cambios de temperatura en la descarga, lo que constituye una ventaja.
- El valor umbral de 3°C, para protección de las especies biológicas más sensibles, sólo se ve superado en una relativamente pequeña zona, de aproximadamente 250 m de radio para la situación actual, que se alarga a alrededor de 500 m para los escenarios futuros.
- 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 (como amenaza a la calidad del agua de la capa inferior) son relativas en el interior portuario, ya sujeto a múltiples solicitaciones que comprometen la calidad del agua.

Sobre las plumas de turbidez:

- 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.

Sobre los tiempos de residencia:

- Los tiempos de residencia en todos los escenarios futuros son mayores que en la configuración actual del Puerto.
- Los escenarios futuros que no presentan una boca falsa son los que tienen los mayores tiempos de residencia, del orden de 10 veces el actual (que es de aproximadamente 2 días). La presencia de la boca falsa disminuye significativamente los tiempos de residencia (del orden de 5 veces el actual).
- La extensión de la obra de abrigo Sur y la modificación del extremo sur de la escollera generan aumentos en los tiempos de residencia.