



**INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA**  
SUBSECRETARÍA DE RECURSOS HÍDRICOS  
SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS  
REPÚBLICA ARGENTINA



# **ESTUDIO DE LA OBRA DE TOMA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA COSTANERA**

## **Informe 1: Hidrodinámica y transporte de residuos sólidos flotantes.**



*Proyecto LHA 343  
Informe LHA 343-02-15  
Ezeiza, Enero de 2015*

**Laboratorio de Hidráulica**

## **AUTORIDADES DEL INA**

### **PRESIDENTE**

Dr. Raúl A. LOPARDO

### **GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS**

Ing. Jorge A. MAZA

### **DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA**

Ing. Julio C. DE LÍO

### **JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA COMPUTACIONAL**

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

### **JEFE DEL PROGRAMA DE HIDRÁULICA DE OBRAS**

Ing. Jorge D. BACCHIEGA

### **EQUIPO DE TRABAJO**

#### **Programa de Hidráulica Computacional**

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

Ing. Mag. Mariano RE

Ing. Pablo GARCÍA

Ing. Emilio LECERTÚA

#### **Programa Hidráulica de Obras**

Ing. Jorge D. BACCHIEGA

Ing. Claudio A. FATTOR

Tomás BERNARDO

M.M.O. Iván N. CORDO

### **INFORME PRODUCIDO POR**

Ing. Mariano RE

Ing. Pablo GARCÍA

# ESTUDIO DE LA OBRA DE TOMA DEL SISTEMA DE REFRIGERACIÓN DE LA CENTRAL TÉRMICA COSTANERA

## Informe 1: Hidrodinámica y transporte de residuos sólidos flotantes.

### RESUMEN

Como apoyo al estudio de la obra de toma de agua para refrigeración de la Central Térmica Costanera se presenta en este informe un estudio hidrodinámico de la Desembocadura del Riachuelo, la evaluación de alternativas de obras de protección de una de las tomas de la central térmica y un análisis del transporte de residuos sólidos flotantes a partir de la rotura instantánea de una barrera contenedora. Basado en los resultados de la modelación numérica de la dinámica de la Desembocadura del Riachuelo en el Río de la Plata, obtenidos con un modelo hidrodinámico del Río de la Plata y un modelo hidrológico-hidrodinámico del río Matanza-Riachuelo, se analizó la hidrodinámica de detalle en la zona de la toma y las implicancias de la ejecución de una obra de protección materializada con una pantalla de tablestacado. Montando un modelo de transporte de contaminantes sobre el modelo hidrodinámico de la zona problema, se estudiaron el transporte y destino de los residuos sólidos flotantes liberados ante una rotura instantánea de una barrera flotante colmada. Los resultados obtenidos de las modelaciones permiten evaluar las alternativas de obra y precisar los tiempos de traslado de un tren de residuos sólidos flotantes desde determinados puntos del Riachuelo hasta la toma con el objetivo de preparar un protocolo de acción ante la ocurrencia de dicho evento.

**Descriptores temáticos:** modelación numérica, hidrodinámica, transporte de residuos sólidos flotantes.

**Descriptores geográficos:** Río de la Plata, Desembocadura del Riachuelo, Buenos Aires, Central Térmica Costanera.

## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>SISTEMA RIO DE LA PLATA – MATANZA-RIACHUELO</b>	<b>6</b>
2.1	Características generales	6
2.2	Hidrodinámica	8
2.3	Antecedentes de modelación hidrodinámica en la zona de estudio	9
<b>3</b>	<b>MODELACIÓN HIDRODINÁMICA</b>	<b>10</b>
3.1	Modelo hidrodinámico del Río de la Plata	10
3.1.1	Sistema de modelación MOHID	10
3.1.2	Dominios de cálculo	10
3.1.3	Batimetría	11
3.1.4	Forzantes	14
3.1.5	Disipación	15
3.1.6	Paso temporal	16
3.2	Modelo hidrológico-hidrodinámico del río Matanza-Riachuelo	16
<b>4</b>	<b>VALIDACION DE LOS MODELOS</b>	<b>18</b>
4.1	Validación del modelo hidrodinámico del Río de la Plata	18
4.1.1	Validación hidrodinámica media	18
4.1.2	Validación hidrodinámica de extremos	21
4.2	Validación del modelo hidrológico - hidrodinámico del río Matanza-Riachuelo	22
<b>5</b>	<b>SIMULACIÓN HIDROLÓGICA-HIDRODINÁMICA DEL MATANZA-RIACHUELO</b>	<b>26</b>
5.1	Caudales en la Desembocadura del Riachuelo	26
5.2	Traslado de onda de crecida	32
<b>6</b>	<b>SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL RÍO DE LA PLATA</b>	<b>35</b>

<b>6.1 Escenarios de modelación</b>	<b>35</b>
<b>6.2 Alternativas de mitigación del problema</b>	<b>38</b>
6.2.1 Pantalla de tablestacas	39
6.2.2 Barrera de mayor envergadura	51
<b>7 TRANSPORTE DE RESIDUOS SÓLIDOS FLOTANTES</b>	<b>55</b>
7.1 Sistema de limpieza de espejo de agua	55
7.2 Modelos de transporte de contaminantes	57
7.3 Estrategia de simulación	57
7.4 Implementación	58
7.5 Simulación de la situación base	58
7.6 Simulación de la situación con obra de tablestacado	63
<b>8 CONCLUSIONES</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO I</b>	<b>74</b>

## 1 INTRODUCCIÓN

La Central Térmica Costanera (Endesa Costanera S.A.) es una importante obra de generación eléctrica situada que se encuentra estratégicamente ubicada en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires (CABA), que junto a la Región Metropolitana de Buenos Aires (RMBA) demandan aproximadamente el 40% del total de la energía eléctrica producida en el país. Específicamente el predio donde se encuentra ubicada, lindero al Complejo Industrial y Naval Argentino (CINAR) que agrupa a los astilleros TANDANOR y Almirante Storni, de aproximadamente unas 115 Ha. y 5000 m de muelle, se ubica en la zona sur de la CABA en la desembocadura del Riachuelo en el Río de la Plata (Figura 1.1).

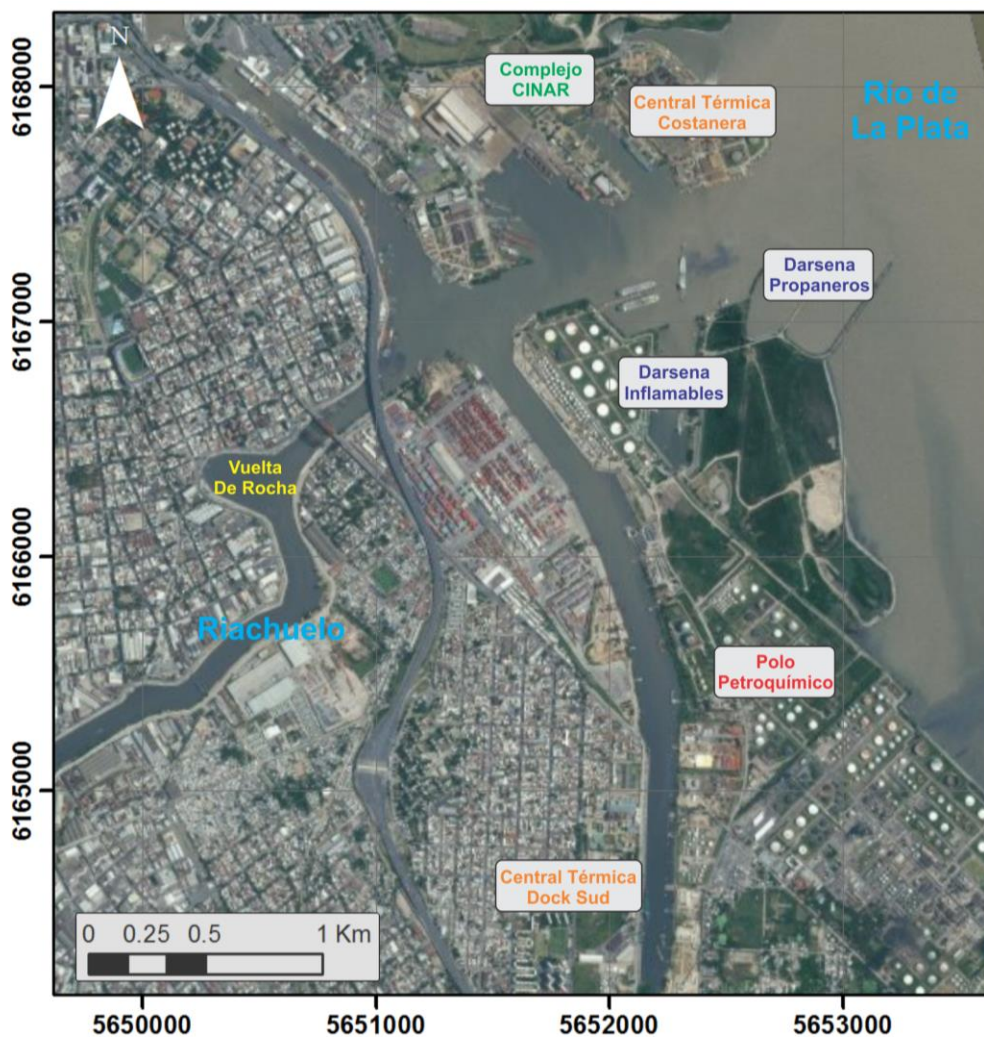


Figura 1.1. Detalle de localización.

Endesa Costanera S.A. opera una planta altamente diversificada constituida por seis unidades monoblock de ciclo convencional a vapor, con una capacidad instalada de 1.138 MW de potencia y dos unidades de Ciclo Combinado, la primera de ellas de 327 MW de potencia y la segunda de 859 MW de potencia bruta ISO configurada por dos turbogeneradores a gas y un turbogenerador a vapor. La Central Térmica Costanera alcanzó diciembre de 2011, con sus once unidades generadoras y 2.324 MW de capacidad, el 7,9 % de participación en la potencia instalada total del Sistema Argentino de Interconexión (SADI)<sup>1</sup>. Con estos valores la Central Térmica Costanera se constituye en la central térmica de mayor aporte al sistema.

La salida de servicio temporal de la Central Térmica Costanera debido a los daños generados en el sistema de bombeo en alguna de las tomas de agua para refrigeración consiste en el problema que convoca este estudio. La Central Térmica Costanera tiene dos tomas de agua de refrigeración: la toma 'Vieja' que alimenta a las unidades más antiguas ubicada más cerca del muelle de TANDANOR y perpendicular al Riachuelo y la toma 'Nueva' más cercana al Río de la Plata y paralela al Riachuelo (Figura 1.2). Particularmente, para en el caso de la toma 'Vieja' la barrera de retención de sólidos se ha visto excedida en su capacidad en varias ocasiones por el arribo de residuos sólidos flotantes.

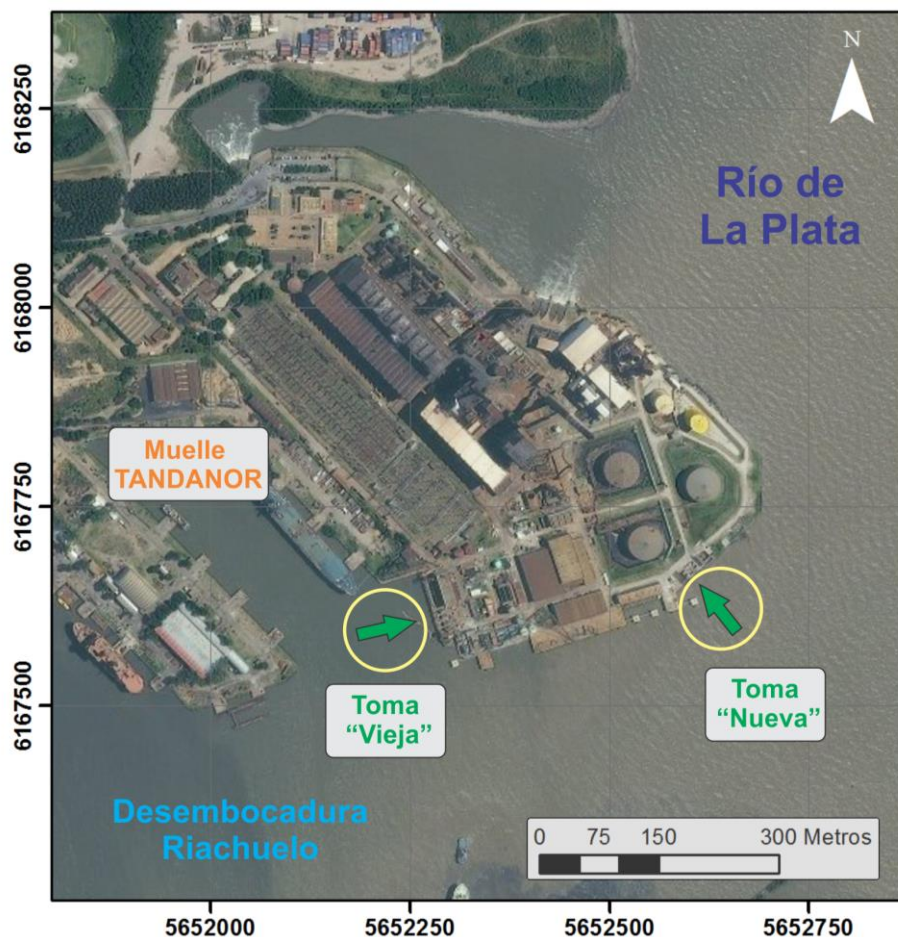


Figura 1.2. Detalle de obras de toma de agua de refrigeración.

<sup>1</sup> <http://www.endesacostanera.com/sitio/index.asp>

En la RMBA la ocurrencia de fenómenos hidrometeorológicos severos caracterizados por precipitación intensa provoca inundaciones urbanas. En este marco, la aparición de residuos sólidos flotantes en los cauces se debe básicamente a la contaminación difusa (un tipo de contaminación de la cual no es posible identificar la fuente). Los residuos sólidos acumulados en los cauces son capaces de producir interferencias y obstaculizaciones que reducen la capacidad de transporte de los mismos. En el caso de la Cuenca Matanza-Riachuelo el transporte y destino de los residuos flotantes hacia aguas abajo puede llegar a perjudicar el normal funcionamiento de obras de infraestructura y elementos de observación y controles ubicados en el Riachuelo.

## 2 SISTEMA RIO DE LA PLATA – MATANZA-RIACHUELO

### 2.1 Características generales

El Río de la Plata es un extenso estuario localizado en la costa Este de Sudamérica, que tiene una forma de embudo que se orienta en el sentido NE-SE, alcanzando una longitud aproximada de 290 km. Mantiene un ancho de unos 50 km en la zona de aguas arriba (Río de la Plata Superior), incrementándose hasta unos 70 km en la zona del Río de la Plata Medio (ambas zonas constituyen el llamado Río de la Plata Interior) y expandiéndose en el Río de la Plata Exterior hasta alcanzar unos 200 km en línea imaginaria Punta Rasa (Argentina) - Punta del Este (Uruguay) (Figura 2.1).

Sobre la costa argentina del Río de la Plata Interior (Franja Costera Sur) se desarrolla la RMBA, el principal conglomerado urbano del país con unos 14 millones de habitantes donde, además de población, se concentra fuertemente la actividad industrial de la Argentina



**Figura 2.1.** Río de la Plata

El río Matanza-Riachuelo, denominado Riachuelo en su desembocadura y río Matanza en la mayor parte de su desarrollo, escurre en sentido SO-NE y pertenece a una de las tantas cuencas vertientes al Río de la Plata Interior.

La Cuenca Matanza-Riachuelo (CMR) abarca una superficie de aproximadamente 2.200 km<sup>2</sup> con una extensión de unos 80 km de largo (Figura 2.2). El sector urbanizado de la cuenca (Cuenca Baja), pertenece a la RMBA, y cuenta con una alta densidad poblacional (la población

total de la cuenca es de aproximadamente 8 millones de habitantes<sup>2</sup>). Las Cuencas Media y Alta pertenecen a un ambiente rural. Administrativamente, el territorio comprendido por la CMR pertenece a la Ciudad Autónoma de Buenos Aires y 14 municipios de la provincia de Buenos Aires: Lanús, Avellaneda, Lomas de Zamora, Esteban Echeverría, La Matanza, Ezeiza, Cañuelas, Almirante Brown, Morón, Merlo, Marcos Paz, Presidente Perón, San Vicente y General Las Heras.

Los principales tributarios del Matanza-Riachuelo son los arroyos Cañuelas, Chacón y Morales en la provincia de Buenos Aires y el arroyo Cildañez en la CABA.

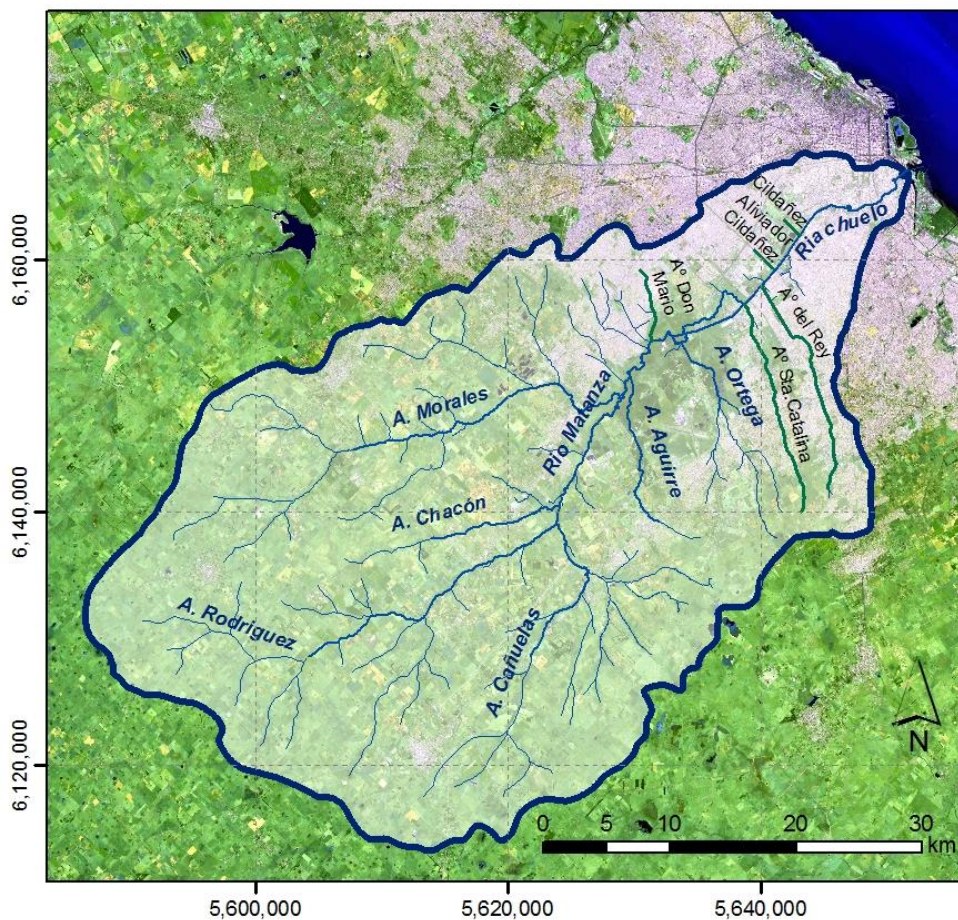


Figura 2.2. Cuenca Matanza-Riachuelo

Se considera Desembocadura del Riachuelo al sector del río que se ubica entre el Río de la Plata y la Vuelta de Rocha (márgenes del barrio de La Boca en la CABA e Isla Maciel en Avellaneda). En esta zona el sector de confluencia entre la Dársena Sur de Puerto Madero en la CABA, el Dock Sud en Avellaneda y el Riachuelo se denominada Cuatro Bocas. Entre la

<sup>2</sup> Instituto Nacional de Estadísticas y Censos - INDEC. Censo Nacional de Población, Hogares y Viviendas 2010. Actualizado a: Julio 2012. Indicador Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo - ACUMAR – C17: Población según sexo y edad

Dársena Sur y la costa del Río de la Plata se ubica la Isla Demarchi (donde se encuentran los astilleros) junto a la Central Térmica Costanera. En el Dock Sud se ubican la Dársena de Propaneros, la Dársena de Inflamables y otros muelles vinculados al transporte de derivados del petróleo (Figura 1.1).

## 2.2 Hidrodinámica

Los forzantes principales de la hidrodinámica del Río de la Plata son la descarga de los tributarios principales que penetran en su cabecera (ríos Paraná y Uruguay), la onda de marea que ingresa desde el océano y los vientos que actúan sobre toda la superficie del agua.

El caudal medio del Río de la Plata es del orden de los 23.000  $m^3/s$  (Jaime y Menéndez, 2002). Más del 97% del ingreso de agua al Río de la Plata es aportado por los ríos Paraná y Uruguay, con el porcentaje restante distribuido en una serie de relativamente pequeñas descargas que llegan a ambas márgenes. El río Paraná llega al Río de la Plata a través de un delta, presentando una marcada estacionalidad y alcanzando caudales que pueden superar los 50.000  $m^3/s$  durante las crecidas extraordinarias. El río Uruguay tiene un caudal medio de aproximadamente 4.700  $m^3/s$  y se distingue por tener mayor variabilidad del ciclo estacional, con caudales máximos tanto en otoño (abril-mayo) como en primavera (octubre).

La onda oceánica que arriba al Río de la Plata tiene un régimen astronómico micromareal (amplitud de pocas decenas de centímetros), por lo que los procesos atmosféricos, especialmente el régimen de vientos oceánicos (condicionado por el anticiclón del Atlántico Sur), tienen un efecto relevante en la forma e intensidad de la onda incidente. La componente de mareas  $M_2$  (componente lunar principal semidiurna) representa más del 65% de la energía presente en la marea (D'Onofrio et al., 1999).

El viento actúa sobre la superficie del río variando los niveles, la velocidad de propagación de la onda de marea y la mezcla vertical. El fenómeno meteorológico más importante para la dinámica del Río de la Plata es la Sudestada, caracterizada por la persistencia de vientos, de regulares a fuertes, del sector SE.

El Matanza-Riachuelo es un río de llanura que vierte sus aguas en el Río de la Plata Interior. La hidrología de este río está fuertemente condicionada por los fenómenos hidrometeorológicos que se dan en la cuenca, considerando a las precipitaciones como el principal forzante del sistema. La evapotranspiración y las actividades de origen antrópico en la cuenca, también se consideran como variables relevantes de la dinámica del río.

En su tramo inferior, la descarga hidrológica (aquella generada por las precipitaciones) varía entre 0,1  $m^3/s$  (valor superado el 90% del tiempo) y 12  $m^3/s$  (superado el 10% del tiempo). Estas descargas, durante la ocurrencia de precipitaciones extremas sobre la cuenca, pueden alcanzar valores de hasta un orden de magnitud mayor. Un aporte al sistema, no despreciable, son las descargas antrópicas importadas desde el Río de la Plata y desde el flujo subterráneo.

La onda de marea que penetra desde el Río de la Plata produce oscilaciones en la descarga, con amplitudes del orden de los 40  $m^3/s$  cerca de la desembocadura, que se atenúa hacia aguas arriba en el tramo Riachuelo.

### 2.3 Antecedentes de modelación hidrodinámica en la zona de estudio

En la región existe una larga experiencia en el desarrollo y aplicación de modelos numéricos hidrodinámicos al Río de la Plata.

La experiencia del INA en la modelación numérica hidrodinámica de este cuerpo de agua se remonta a principios de la década de 1970, cuando se efectuaron intentos iniciales. El primer desarrollo sistemático, que fue pionero en la región, fue presentado por Molinari (1986), que utilizó el software HIDROBID II (Menéndez, 1985, 1990) para modelación bidimensional. Mejoras y aplicaciones de este modelo siguieron con Albarracín (1987) y Olalde (1988). Entre las últimas aplicaciones, también desarrolladas utilizando el software HIDROBID II, se destacan el modelo RP2000, que presenta una gran resolución espacial (malla de 1.000 m de lado) y una cuidadosa calibración (Jaime y Menéndez, 1999), y el RPP2D (Re y Menéndez, 2003), capaz de simular la generación de ondas de tormenta, cuyo dominio incluye gran parte del Frente Marítimo. Una aplicación posterior a este desarrollo es el modelo RPP3D (Kind, 2004), que tiene como objetivo estudiar la interfase entre las masas de agua dulce y salada del Río de la Plata, utilizándose en este caso un modelo matemático tridimensional basado en el software de dominio público POM (*Princeton Ocean Model*).

Se destacan, además, otros trabajos de modelación del Río de la Plata efectuados en la región, como los de Guarga et al. (1991), Kaplan (1998) y Simionato et al. (2004, 2011).

Específicamente en la zona de análisis, como estudios de modelación hidrodinámica precedentes se encuentran la evaluación de la influencia de la descarga de agua sobrecalentada de la Central Costanera sobre la temperatura del agua y de la sedimentación en la región dragada alrededor en una de las tomas (Tarela et al., 1997; Bombardelli et al., 1997; y Menéndez, 1997), y la modelación del impacto hidráulico de un relleno costero localizado en cercanías de la zona costera de Central Costanera (Re et al., 2009 y 2010).

Respecto de la modelación del río Matanza-Riachuelo se destacan los esfuerzos realizados durante el Plan de Gestión Ambiental de la Cuenca Matanza-Riachuelo (PGA)<sup>3</sup>, cuya formulación data del año 1995. En este primer plan integral de gestión de la cuenca se desarrollaron diferentes estrategias para producir un primer nivel de mejora.

---

<sup>3</sup> Secretaría de Recursos Naturales y Ambiente Humano de la Nación, "Plan de Gestión Ambiental y de Manejo de la Cuenca Hídrica Matanza-Riachuelo", Anexo Técnico A – Modelos Matemáticos, 1995.

### 3 MODELACIÓN HIDRODINÁMICA

#### 3.1 Modelo hidrodinámico del Río de la Plata

##### 3.1.1 Sistema de modelación MOHID

Para este estudio se utiliza el sistema de modelación MOHID, desarrollado y mantenido por MARETEC (*Marine and Environmental Technology Research Center*) en el Instituto Superior Técnico (IST) de la Universidad Técnica de Lisboa. MOHID permite la adopción de una filosofía de modelación integrada, no solo de procesos físicos o biogeoquímicos, sino también de múltiples escalas y sistemas, permitiendo el uso de modelos anidados. La versión inicial de este sistema (Neves, 1985) fue un modelo bidimensional para la simulación de mareas, del cual se mantuvo el nombre “*MOdelo HIDrodinâmico*”. El Sistema MOHID consiste en una herramienta capaz de simular problemas costeros complejos y flujos estuarinos (Cancino y Neves, 1999; Martins et al., 2001; Coelho et al., 2002; Trancoso et al., 2005; Saraiva et al., 2007; entre otros).

MOHID 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 (Chippada et al., 1998; Martins et al., 2001). 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.

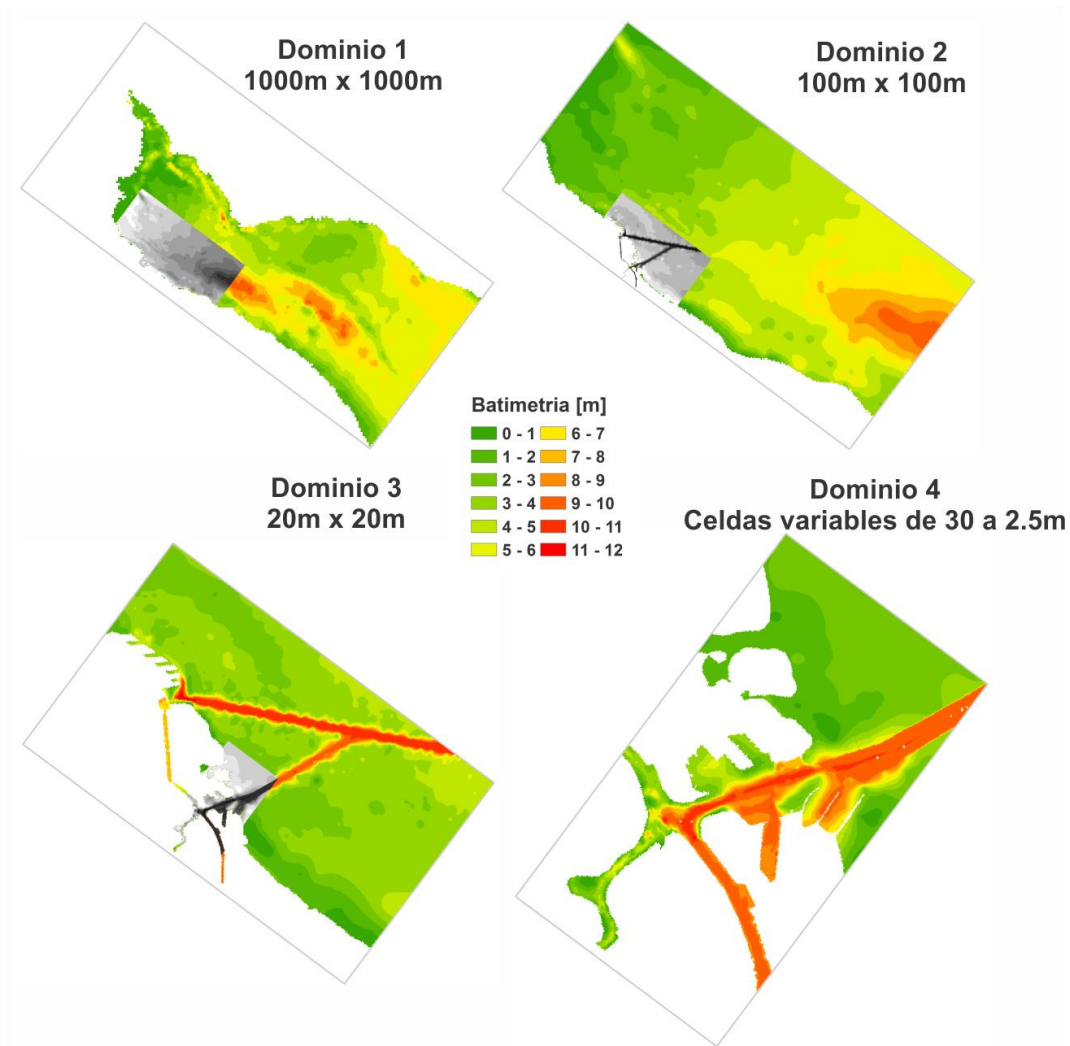
El sistema MOHID también incluye la posibilidad de utilizar un modelo bidimensional (resultante de integrar las ecuaciones anteriores sobre la profundidad), especialmente apto para el Río de la Plata dada su escasa profundidad relativa (frente a la longitud de onda de marea)

##### 3.1.2 Dominios de cálculo

El modelo se ha implementado en cuatro dominios anidados (Figura 3.1). El Dominio 1, que es el de mayor extensión (y menor resolución), provee de condiciones de borde al Dominio 2, éste al Dominio 3, y finalmente este último impone las condiciones de borde al Dominio 4, que es el de menor extensión (y mayor resolución). La zona problema se resuelve detalladamente en el Dominio 4.

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 100 km, discretizado con 210 celdas en la dirección x, y 100 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 40 km y un ancho de 27 km, discretizados en 400 celdas en x y 270 celdas en y. El Dominio 3 tiene 8 km de

largo y 6 km de ancho, discretizados en 400 columnas y 250 filas, comenzando en cercanías del puerto de Buenos Aires y llegando hasta Quilmes. El Dominio 4 tiene 4.4 km de largo y 2.5 km de ancho, discretizados en 400 celdas en x y 500 celdas en y, focalizándose en la zona donde está emplazada la Central Térmica Costanera. Este último dominio tiene una discretización irregular, contando con celdas cuadradas cuyos lados varían de 30 a 2.5 m (ubicándose las celdas más pequeñas en el entorno de las tomas de la Central Costanera).



**Figura 3.1.** Dominios de cálculo.

### 3.1.3 Batimetría

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

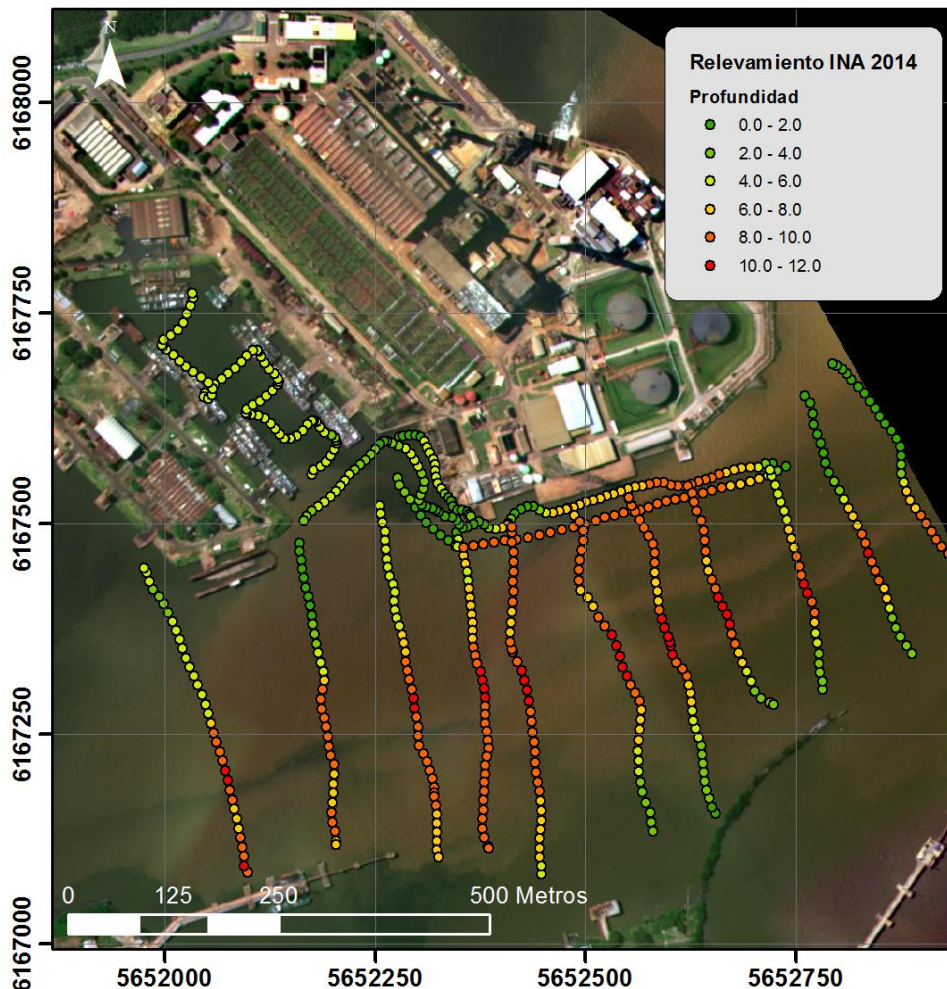
- SHN-H116, Río de la Plata Medio y Superior
- SHN-H118, Río de la Plata Superior
- SHN-H130, Delta del Paraná
- SHN-H156, Puerto de Buenos Aires

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 5.424 puntos.

Para las batimetrías de los dominios 3 y 4 se utilizaron adicionalmente los siguientes relevamientos batimétricos de detalle realizados por la Administración General de Puertos Sociedad del Estado (AGPSE)<sup>4</sup>:

- Relevamiento Canales Norte y Acceso al Puerto de Buenos Aires (junio 2013)
- Puerto Nuevo (mayo 2014)
- Puerto Sur (julio 2010, agosto 2012 y noviembre 2013)

Como parte de este proyecto, durante junio de 2014 el Centro Regional Litoral del INA (CRL-INA) realizó un relevamiento batimétrico de detalle en las zonas aledañas a la Central Costanera, tal como se muestra en la Figura 3.2 (Orué et al., 2014)



**Figura 3.2.** Relevamiento batimétrico de detalle realizado en el marco del proyecto (CRL-INA, junio 2014)

<sup>4</sup> <http://v1.puertobuenosaires.gob.ar/batimetria.html>

La Figura 3.3 muestra las batimetrías resultantes para cada dominio.

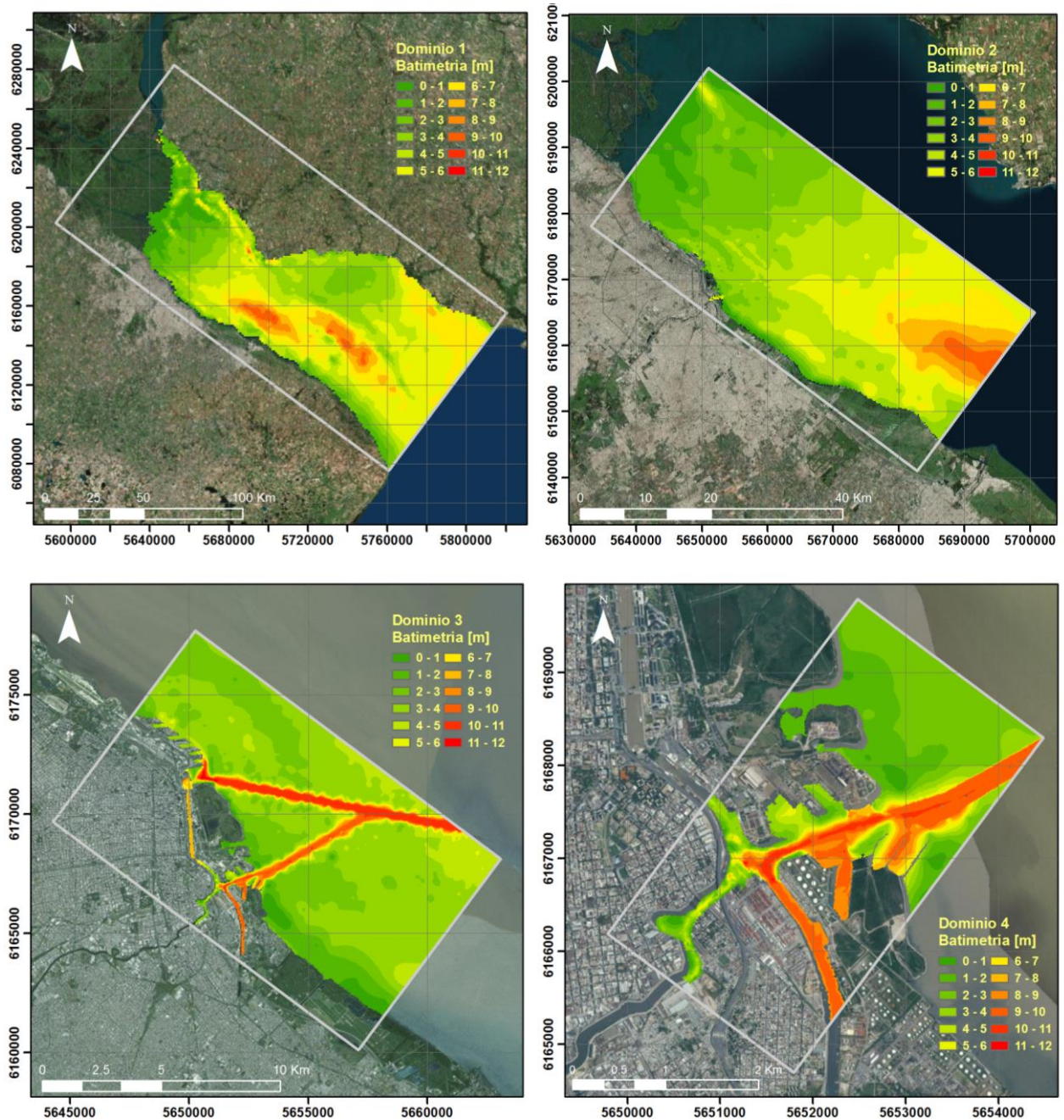


Figura 3.3. Batimetrías y dominios de simulación.

### 3.1.4 Forzantes

Para el Dominio 1 los forzantes de movimiento (la marea oceánica y el aporte de los tributarios) son implementados 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 RPP2D (Re y Menéndez, 2003, 2007).

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 3.4). 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 obtienen a través de un esquema de partición conocido (Bombardelli et al., 1995). Por su parte, el caudal medio del río Luján es de 15 m<sup>3</sup>/s.

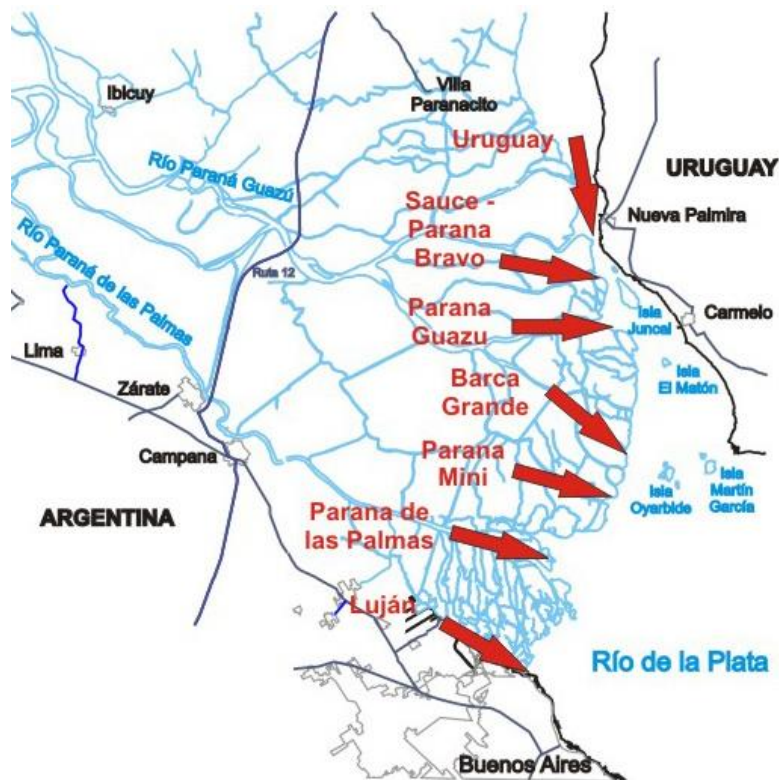


Figura 3.4. Ubicación de los tributarios.

El campo de vientos actuante sobre la superficie del agua fue generado a partir de los datos de reanálisis de NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). Dada la resolución de los datos (del orden de los 2°) se realizó una interpolación espacial para representar al forzante en la zona problema. El intervalo temporal de los datos es de 6 horas, que se interpolan linealmente para tiempos intermedios.

Los efectos de la marea oceánica y la descarga de los tributarios sobre el Dominio 2 se imponen a través de las condiciones sobre los bordes abiertos calculadas con el Dominio 1. De igual

manera, el Dominio 2 provee de condiciones sobre los bordes abiertos para el Dominio 3 y este hace lo mismo con el Dominio 4. En este último dominio se agregan la descarga del Matanza-Riachuelo, la descarga de la Central Dock Sud y las dos descargas y dos tomas de la Central Costanera, que resultan significativas a esta escala de resolución (Figura 3.5). En la Tabla 3.1 se puede ver en detalle los valores de caudales de las distintas tomas y descargas.

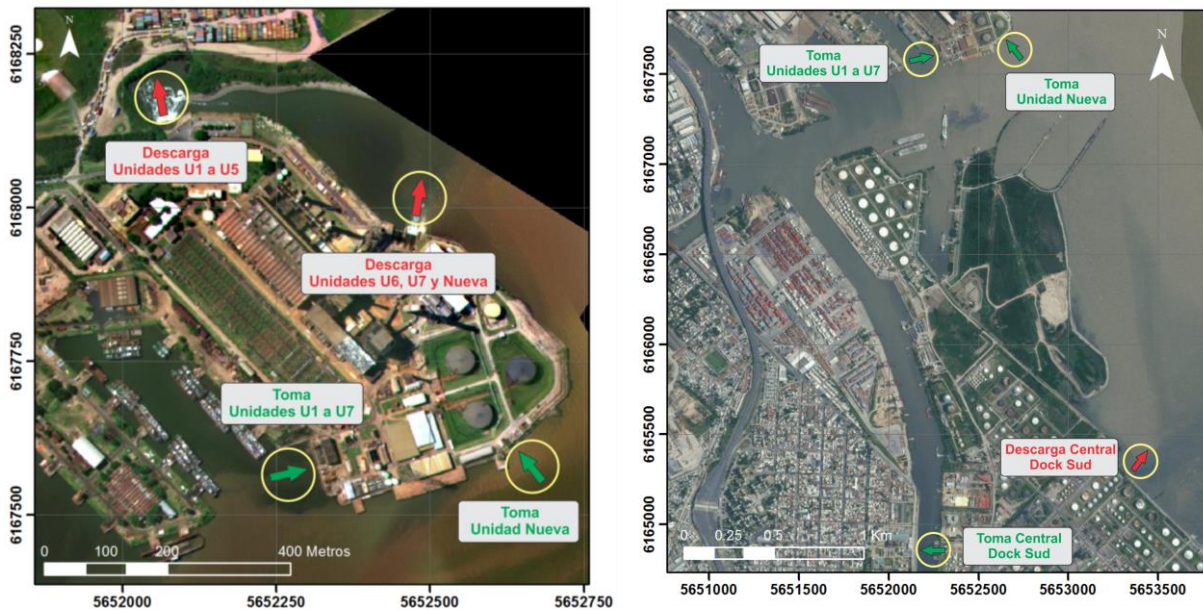


Figura 3.5. Esquema de Descargas y Tomas en Central Costanera y Central Dock Sud.

Tabla 3.1. Descargas y Tomas en Central Costanera y Dock Sud.

Tipo	Nombre	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
Toma de agua	Central Dock Sud	9.6
Toma de agua	Central Costanera (U1 a U5)	24.0
Toma de agua	Central Costanera (U6)	14.0
Toma de agua	Central Costanera (U7)	14.0
Toma de agua	Central Costanera (CC)	16.0
Descarga	Central Dock Sud	9.6
Descarga	Central Costanera (Unidades 1 a 5)	24.0
Descarga	Central Costanera (U6, U7 y CC)	44.0

### 3.1.5 Disipación

La energía mecánica se disipa en torbellinos de eje horizontal, parametrizados con un coeficiente de rugosidad, y de eje vertical, parametrizados con una viscosidad de torbellino.

El coeficiente de rugosidad condiciona la tensión de corte contra el fondo, que depende de la velocidad local del fluido. La parametrización de esta variable se realizó a partir de un coeficiente de rugosidad  $n$  de Manning de 0,015, el cual coincide con lo recomendado en estudios antecedentes (Jaime y Menéndez, 1999).

La viscosidad de torbellino controla la difusión. La estimación de este parámetro se realizó a partir del Modelo de Smagorinsky (Smagorinsky, 1963), obteniéndose valores aproximadamente en el rango 1-5  $m^2/s$ . Los resultados son relativamente poco sensibles a este parámetro.

### 3.1.6 Paso temporal

Por razones de precisión (y, eventualmente, de estabilidad numérica), se adoptaron diferentes pasos temporales ( $\Delta t$ ) de cálculo para cada dominio (Tabla 3.2).

**Tabla 3.2.** Pasos Temporales para cada dominio.

Dominio	$\Delta t$ [seg]
1	180
2	30
3	6
4	1

## 3.2 Modelo hidrológico-hidrodinámico del río Matanza-Riachuelo

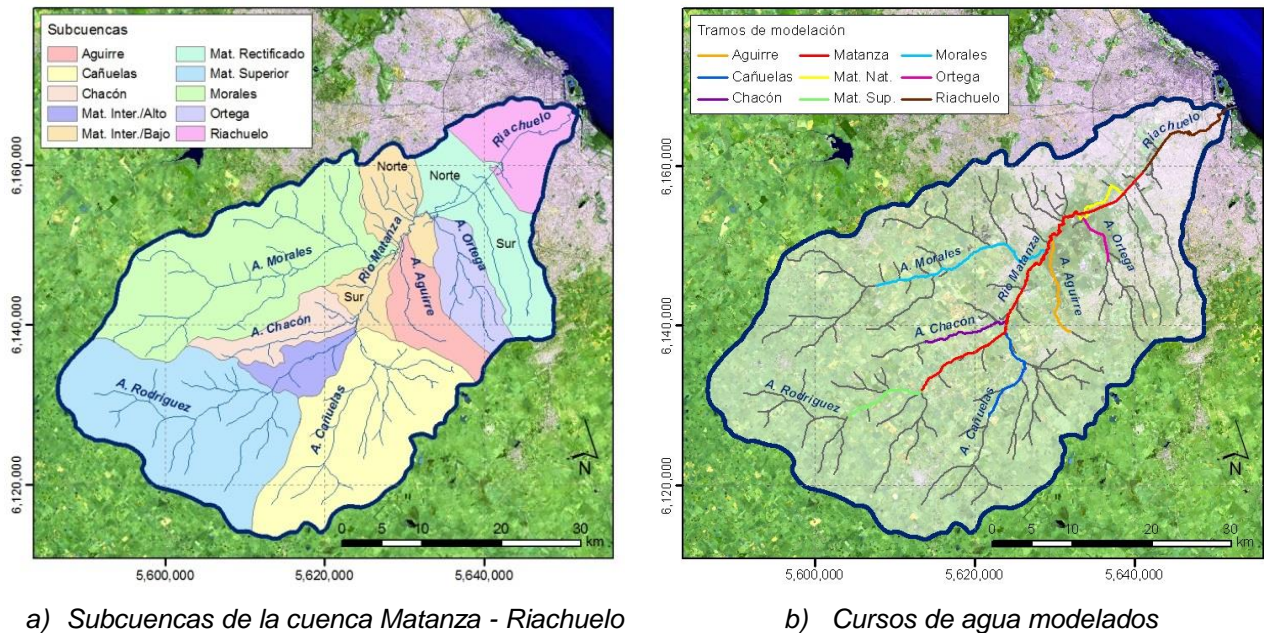
La Cuenca Matanza-Riachuelo (CMR) ocupa una superficie de aproximadamente 2200  $km^2$ , y comprende parte de la Ciudad de Buenos Aires (CABA) y 14 municipios del Gran Buenos Aires. El río Matanza-Riachuelo, de aproximadamente 70  $km$  de extensión, es el principal curso de agua urbano que atraviesa la Región Metropolitana de Buenos Aires.

El modelo hidrológico-hidráulico (HDL-HDM) del Matanza-Riachuelo resuelve el proceso de transformación de lluvia en escorrentía y el posterior transporte de esos volúmenes de agua a través de los cauces de la cuenca de manera continua. Este modelo fue implementado con el software MIKE 11 (DHI, *Danish Hydraulic Institute*).

En la Figura 3.6.a se presentan las subcuencas identificadas en el modelo hidrológico, mientras que en la Figura 3.6.b se muestran los cursos de agua representados en el modelo unidimensional hidrodinámico. El tramo principal está constituido por el río Matanza-Riachuelo. En la cabecera de los arroyos se impone un caudal concentrado y en los tramos se introduce un caudal de forma distribuida a lo largo del curso receptor de la escorrentía. En la desembocadura al Río de la Plata se utilizan valores horarios de nivel en la estación Palermo, provistos por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN).

La transformación lluvia-escorrentía se efectúa mediante el modelo conceptual NAM (*Nedbør-Afrstrømnings-Model*, DHI). Este modelo de parámetros concentrados permite cuantificar, en forma continua, el contenido de agua en tres almacenamientos diferentes, pero

interrelacionados, para cada subcuenca: superficial, inferior o de raíces, y agua subterránea (Lecertua et al., 2013).



**Figura 3.6.** Modelo hidrológico-hidrodinámico del río Matanza-Riachuelo

Los forzantes climáticos de esta modelación son: precipitación; temperaturas mínima, media máxima; heliofanía efectiva, y humedad relativa media. Los mismos fueron provistos por el Servicio Meteorológico Nacional (SMN) para la estación Ezeiza. Para calcular la serie temporal de evapotranspiración potencial se aplicó la formulación de *Penman-Monteith*.

Más detalles de este modelo pueden encontrarse en Menéndez et al. (2009) y Lecertua et al. (2013).

## 4 VALIDACION DE LOS MODELOS

### 4.1 Validación del modelo hidrodinámico del Río de la Plata

#### 4.1.1 Validación hidrodinámica media

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 4.1, cercanas a las tomas de agua de Palermo y de Bernal para el período 10/Mar a 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 hidrodinámico medio.

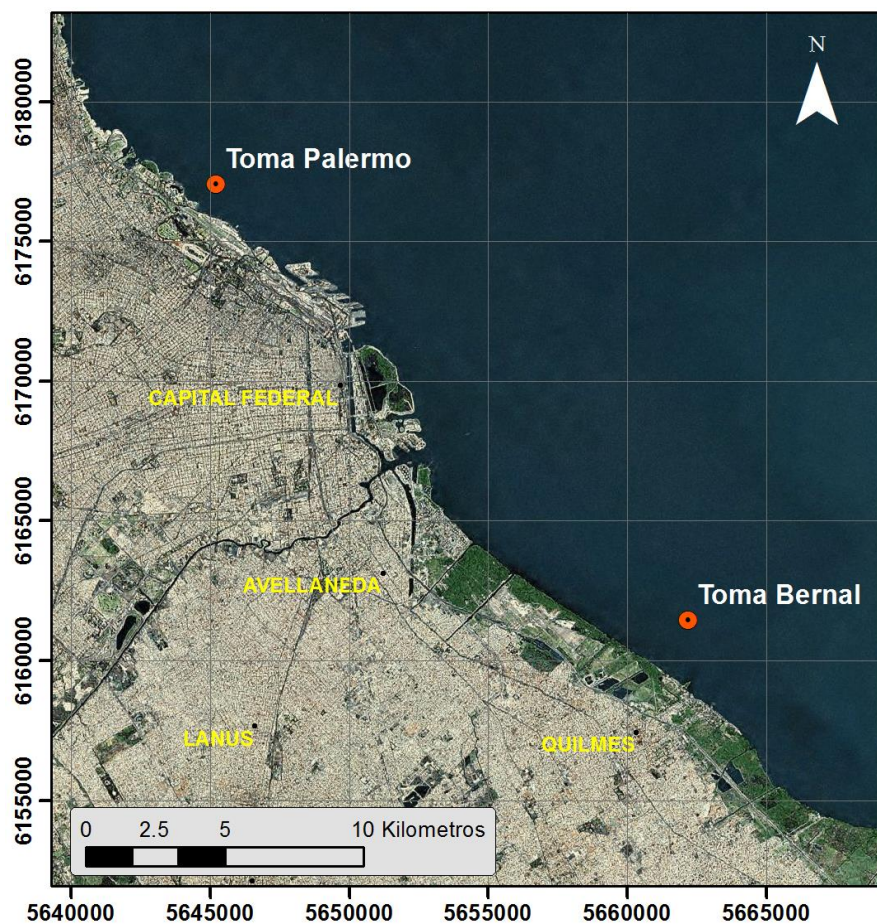
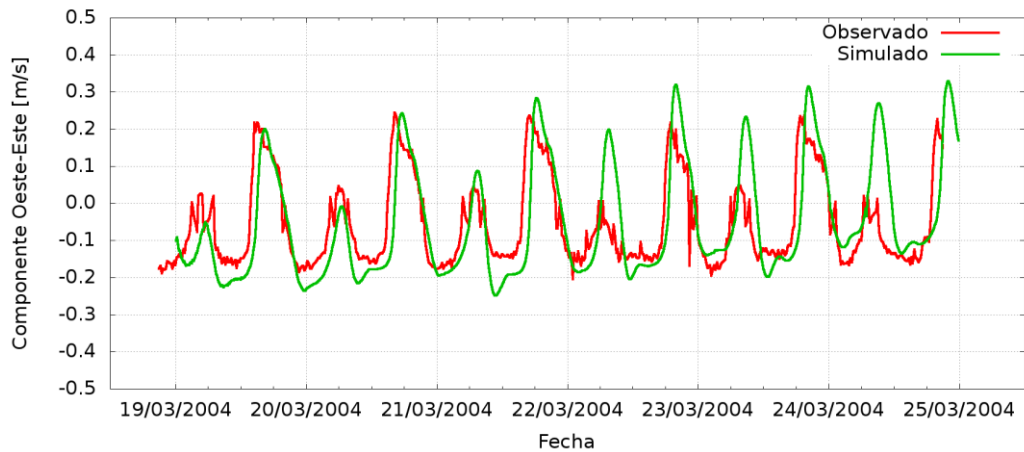
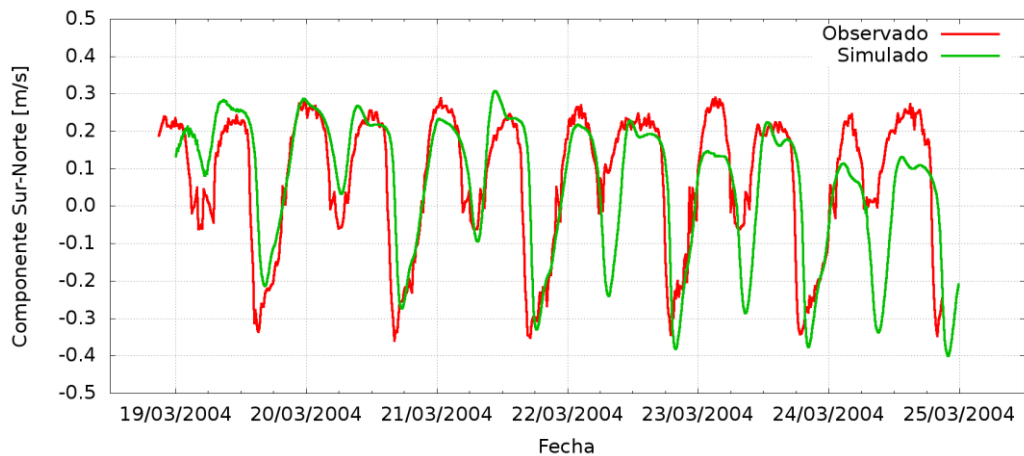


Figura 4.1. Ubicación de puntos de medición de velocidades.

En las Figuras 4.2 y 4.3 se muestra la comparación entre las series temporales de las dos componentes de la velocidad de la corriente, para las estaciones Palermo y Bernal. El acuerdo general se considera satisfactorio. La Figura 4.4 muestra 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.

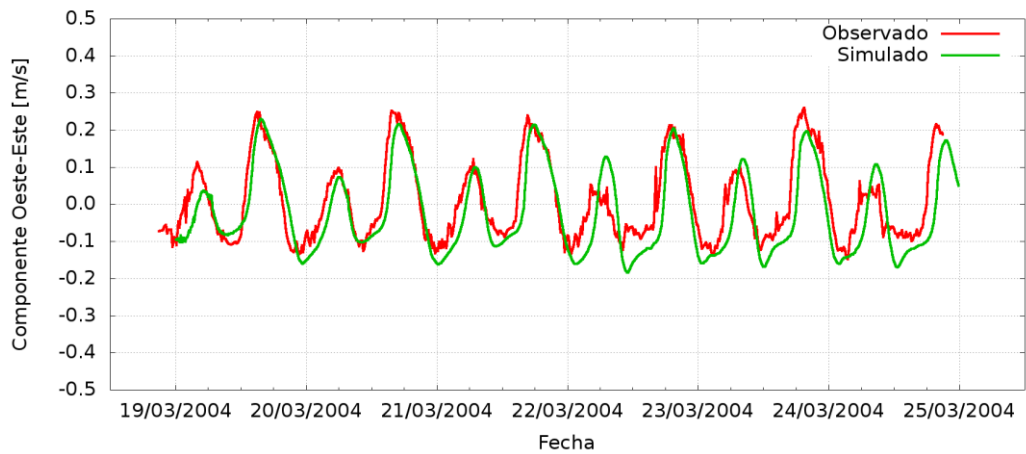


a) Componente Oeste-Este

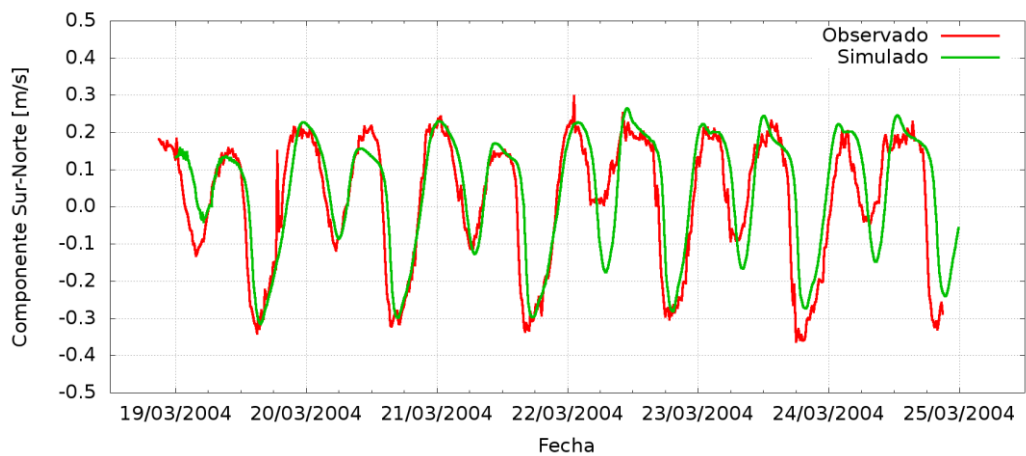


b) Componente Sur-Norte

**Figura 4.2.** Comparación de velocidades medidas y calculadas. Palermo.

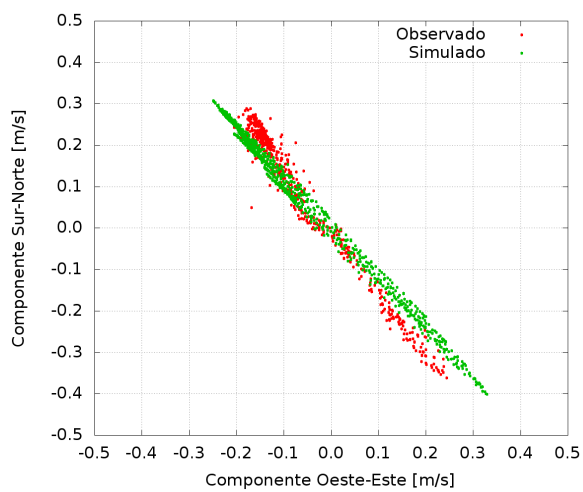


a) Componente Oeste-Este

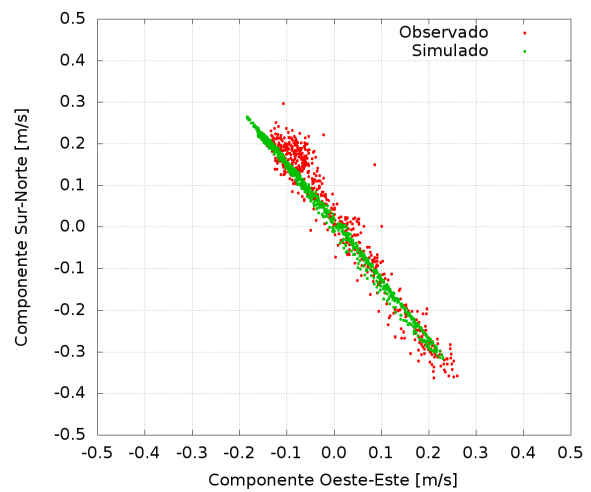


b) Componente Sur-Norte

**Figura 4.3.** Comparación de velocidades medidas y calculadas. Bernal.



a) Palermo



b) Bernal

**Figura 4.4.** Rosas de corrientes.

#### 4.1.2 Validación hidrodinámica de extremos

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. Con el efecto de Coriolis, esta situación tiene sus impactos mayores en la costa argentina, inundando las zonas más bajas.

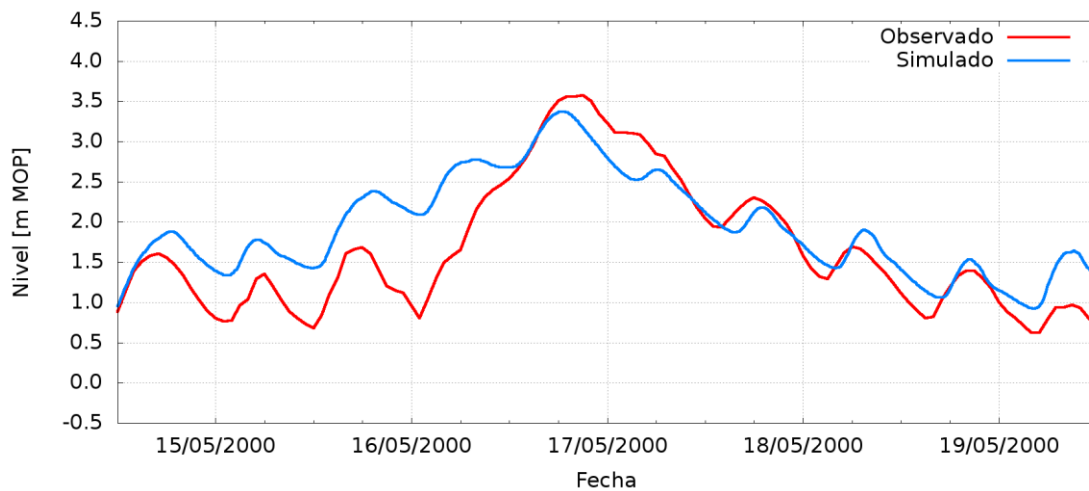
Las Sudestadas pueden ocurrir, con o sin precipitaciones, en cualquier estación del año (lo hacen con menos frecuencia durante otoño e invierno). El mayor nivel del agua en el Río de la Plata registrado en el Puerto de Buenos Aires fue de 4,44 *m MOP*, ocurrido el 15 de abril de 1940.

Existen diferentes patrones de la circulación atmosférica baja que causan las Sudestadas. La mayoría de ellas están básicamente asociadas con una alta presión al Sur del Río de la Plata y una muy profunda baja presión en el Norte, que provocan vientos del sector Sudeste. Estos campos de circulación atmosférica baja, forzantes de las Sudestadas, son considerados anómalos con respecto a las condiciones medias de la región (Escobar et al., 2004).

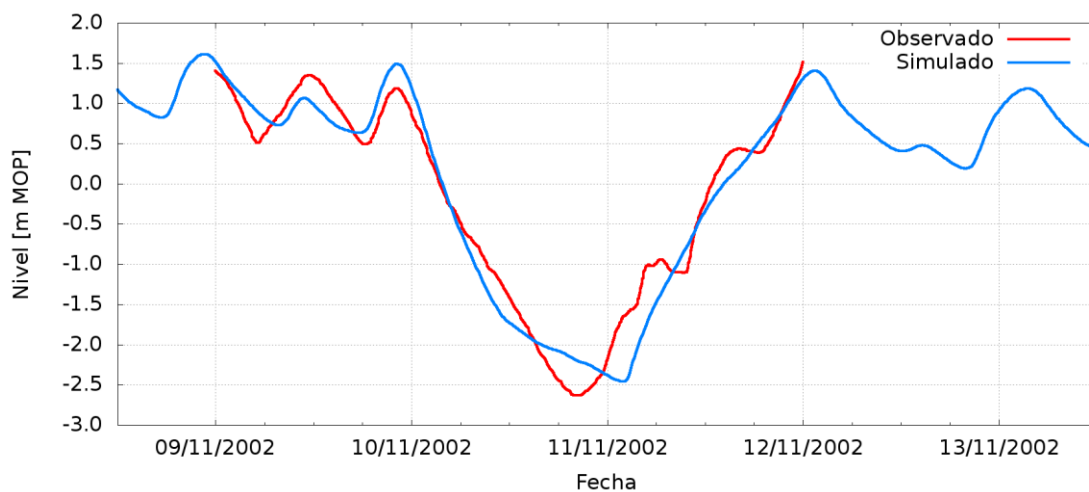
Los eventos de bajantes se registran a raíz de la persistencia de vientos fuertes de los sectores Nornoroeste, Norte y Nornordeste sobre el Río de la Plata. Estas ondas de tormenta negativas afectan tanto a la navegación en el Río de la Plata, como a la provisión de agua potable de una gran parte de la población de la RMBA.

Campetella et al. (2006) discriminan las bajantes entre ondas de tormentas negativas (inferiores a -1,20 *m MOP*), con ocurrencia durante todo el año principalmente durante otoño e invierno; y ondas de tormentas negativas extremas (inferiores a -1,80 *m MOP*), con mayores duraciones y asociadas en general a ciclogénesis explosivas sobre la costa central de la provincia de Buenos Aires. La mayor bajante de Río de la Plata registrada en Buenos Aires fue de 3.66 *m* por debajo del nivel medio del mar, el 29 de mayo de 1984.

Para validar la modelación respecto de la ocurrencia de este tipo de extremos, se dispuso de mediciones del nivel del agua en Buenos Aires, provistos por el Servicio de Hidrografía Naval, para cada uno de estos dos eventos: Bajante Noviembre 2002 (9 al 11 de noviembre) y Sudestada Mayo 2000 (14 al 19 de mayo). Los datos de vientos de NCEP/NCAR fueron ajustados para reproducir lo más fielmente posible los niveles horarios. Las Figuras 4.5 y 4.6 muestran las comparaciones de la Sudestada y la Bajante respectivamente. El acuerdo se considera satisfactorio.



**Figura 4.5.** Comparación de niveles en Buenos Aires. Sudestada de Mayo 2000.



**Figura 4.6.** Comparación de niveles en Buenos Aires. Bajante de Noviembre 2002.

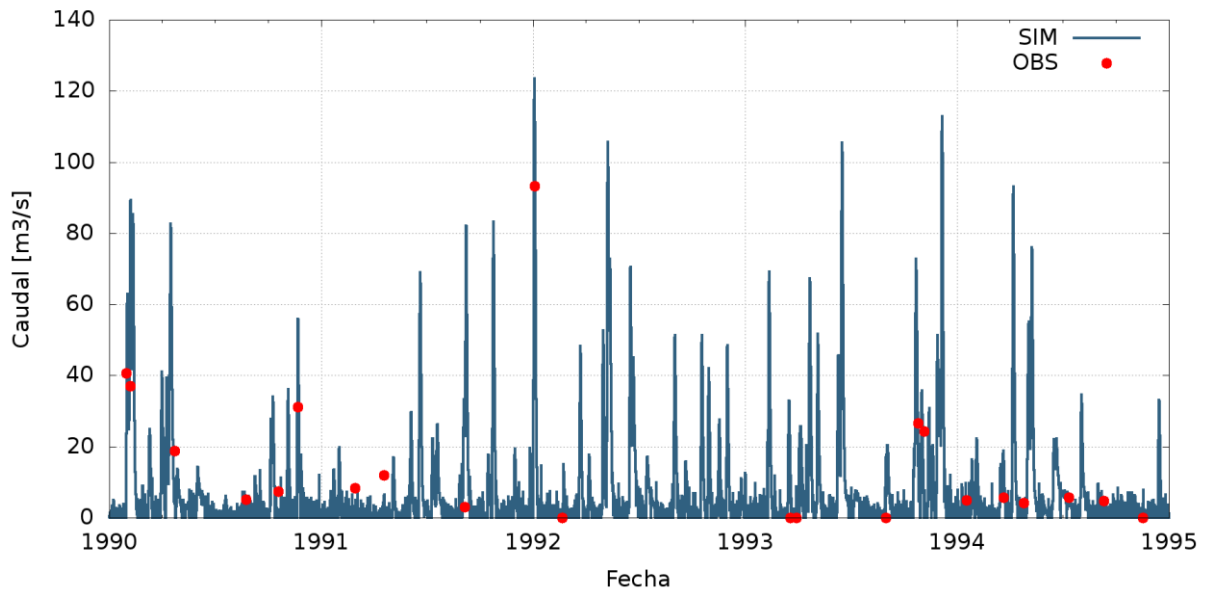
#### 4.2 Validación del modelo hidrológico - hidrodinámico del río Matanza-Riachuelo

Para la validación del modelo hidrológico - hidrodinámico del río Matanza-Riachuelo se contó con una serie de caudales aforados instantáneos del río Matanza durante el período 1982-2007 y una serie de caudales cada 6 horas observados durante el período de 14 al 25 de mayo de 2000 (pase de una crecida) en la estación Autopista Ricchieri, sobre el tramo rectificado del río Matanza, ambas producidas por la Dirección Provincial de Saneamiento y Obras Hidráulicas de Buenos Aires (DIPSOH).

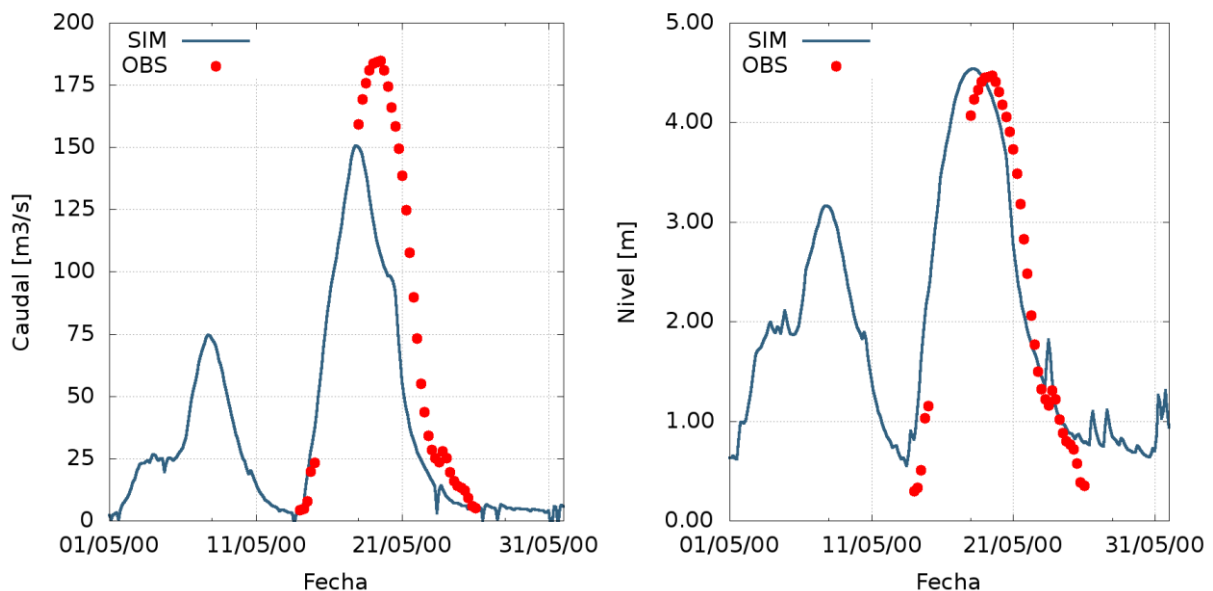
Estas mediciones son posteriores a la finalización de la canalización del Matanza-Riachuelo (año 1973), por lo tanto, en la estación se hacen presentes los efectos de la marea y no existe relación única entre niveles y caudales. En la Figura 4.7 se muestra la comparación entre caudales observados y simulados desde el año 1990 a 1995. El acuerdo general se considera satisfactorio, en el sentido de que el modelo provee resultados compatibles con los registrados.

Sin embargo, no es posible efectuar una comparación de tipo estadístico entre simulación y mediciones, ya que estas últimas constituyen una base de datos fuertemente incompleta.

En la Figura 4.8 se muestra la comparación entre lo simulado con el modelo y las mediciones para la crecida del río Matanza-Riachuelo durante mayo de 2000. Se observa un muy buen acuerdo para los niveles, salvo por el relativamente pequeño adelanto que muestran los resultados del modelo. Respecto de los caudales, las diferencias se atribuyen a la mala calidad de la curva altura-caudal en el Canal Aliviador, debido a la penetración de la onda de marea.



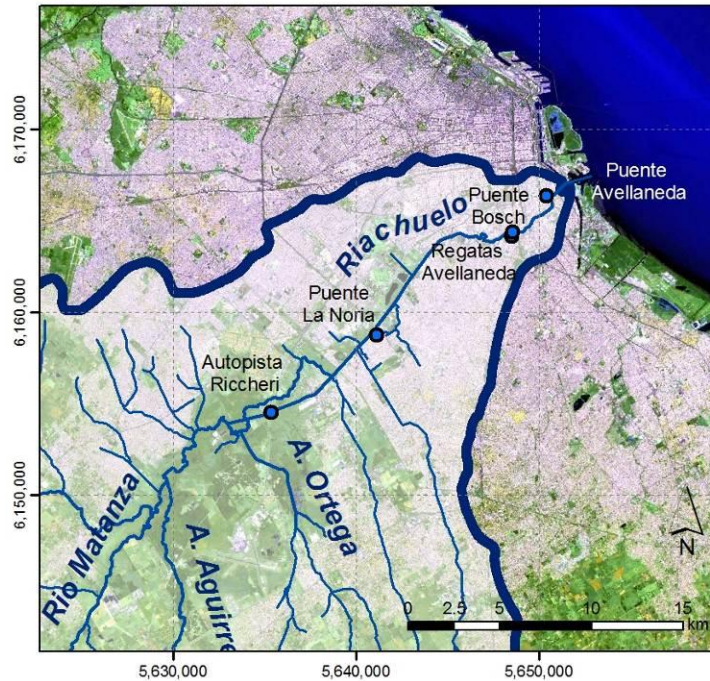
**Figura 4.7.** Comparación entre series temporales de caudal medidas y calculadas en Autopista Ricchieri



**Figura 4.8.** Comparación entre series temporales de nivel y caudal, medidas y calculadas en Autopista Ricchieri

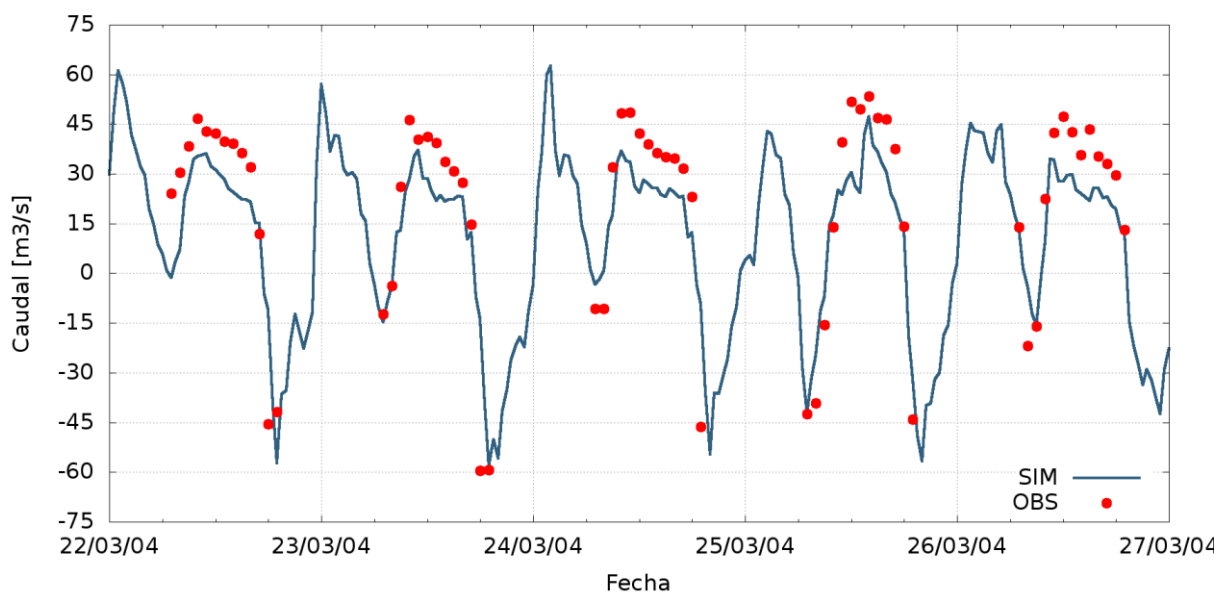
Por otro lado, en la Cuenca Baja, se cuenta con la serie de caudales horarios diurnos del Riachuelo durante la semana del 22 al 26 de marzo de 2004 en la estación Puente Bosch producida por el INA (2005) y la serie de caudales de paso temporal variable del río Matanza-

Riachuelo en las estaciones Puente Avellaneda, Regatas Avellaneda, Puente La Noria y Autopista Ricchieri en dos campañas (31 de agosto de 2011 y 2 de setiembre de 2011) producida por la empresa Evaluación de Recursos S.A. (EVARSA) para la Autoridad de Cuenca Matanza-Riachuelo (ACUMAR). La ubicación de las estaciones se presenta en la Figura 4.9.

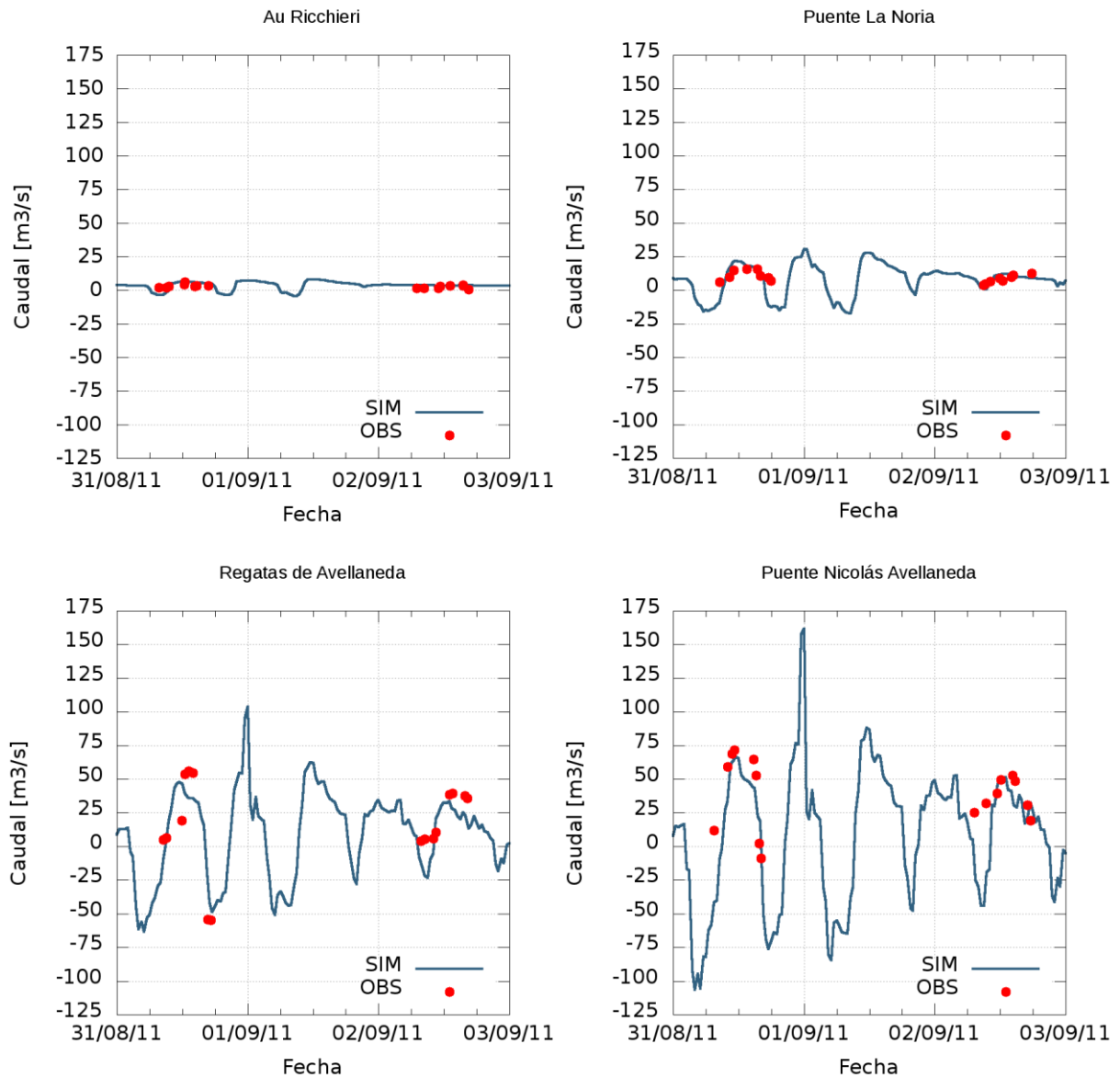


**Figura 4.9.** Ubicación de estaciones continuas

Las comparaciones entre caudales observados y simulados en las estaciones más cercanas a la desembocadura, donde los efectos de la marea y las descargas antrópicas son dominantes (disminuyendo la influencia de la variabilidad hidrológica) se presentan en las Figuras 4.10 y 4.11. El acuerdo general se considera satisfactorio, teniendo en cuenta las incertidumbres asociadas a las mediciones.



**Figura 4.10.** Comparación entre series temporales de caudal medidas y calculadas en Puente Bosch



**Figura 4.11.** Comparación entre series temporales de caudal medidas y calculadas

Se puede ver que el modelo constituye una representación adecuada del balance hídrico dinámico de la cuenca del Matanza - Riachuelo, considerando toda la información hidrométrica disponible.

## 5 SIMULACIÓN HIDROLÓGICA-HIDRODINÁMICA DEL MATANZA-RIACHUELO

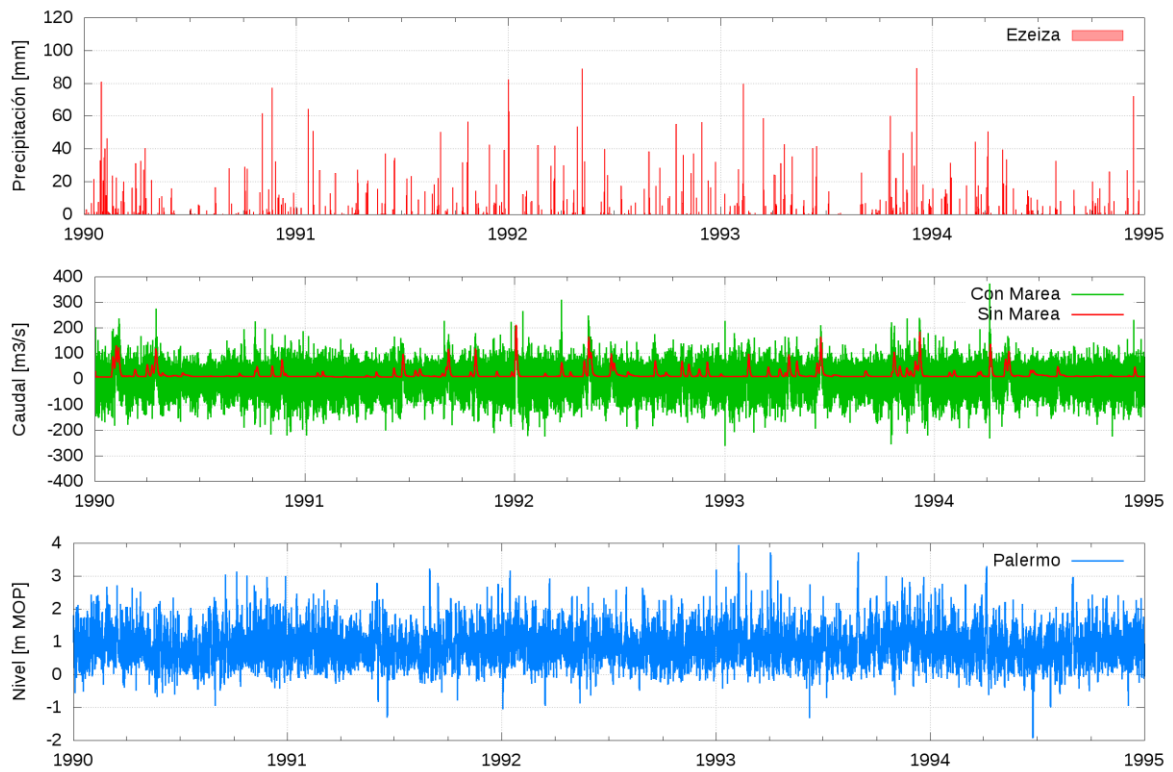
### 5.1 Caudales en la Desembocadura del Riachuelo

El caudal en la Desembocadura Riachuelo resulta una variable clave para ser utilizada como condición de borde del modelo hidrodinámico del Río de la Plata para la modelación de detalle del entorno de las tomas de Central Costanera. Dado que no se cuenta con mediciones sistemáticas y continuas de esta variable, se realizaron simulaciones con el modelo hidrológico-hidráulico (HDL-HDN) del río Matanza-Riachuelo (presentado en la Sección 3.2) con el objetivo de realizar un análisis estadístico para caracterizar las descargas al Río de la Plata.

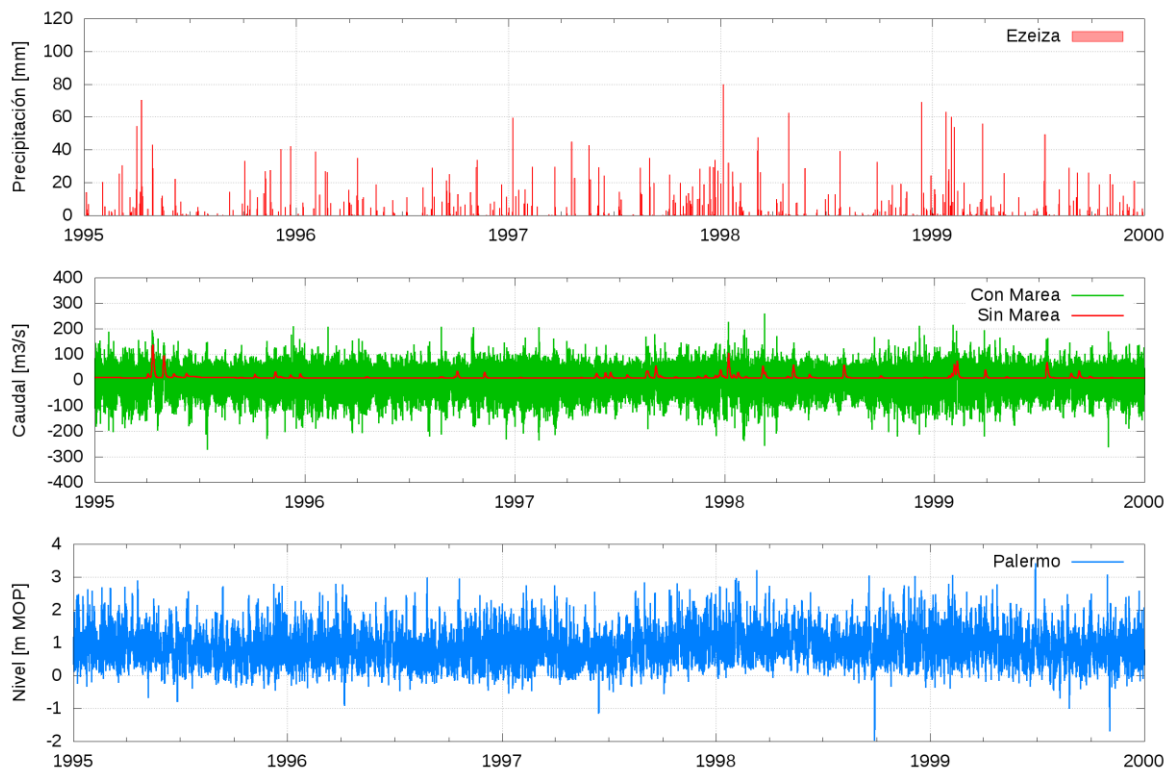
El período de simulación fue de 22 años (Ene 1990 – Nov 2011). El forzante principal del sistema consistió en la serie de precipitaciones diarias de la estación meteorológica Ezeiza del Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

El condicionante principal del sistema fue la condición de borde de aguas abajo (representativa del nivel del Río de la Plata en la Desembocadura del Riachuelo). Para el caso de la simulación que incluyó el efecto de la dinámica del Río de la Plata (marea astronómica y meteorológica) se consideró la serie de niveles horarios en la estación Palermo del Servicio de Hidrografía Naval (SHN). Para el caso de la simulación realizada sin considerar el efecto de la dinámica del Río de la Plata se fijó la condición de borde de nivel en 0.90 *m MOP* (valor representativo del nivel medio del Río de la Plata en esa zona, obtenido de la serie 1989-2013 de niveles en Palermo).

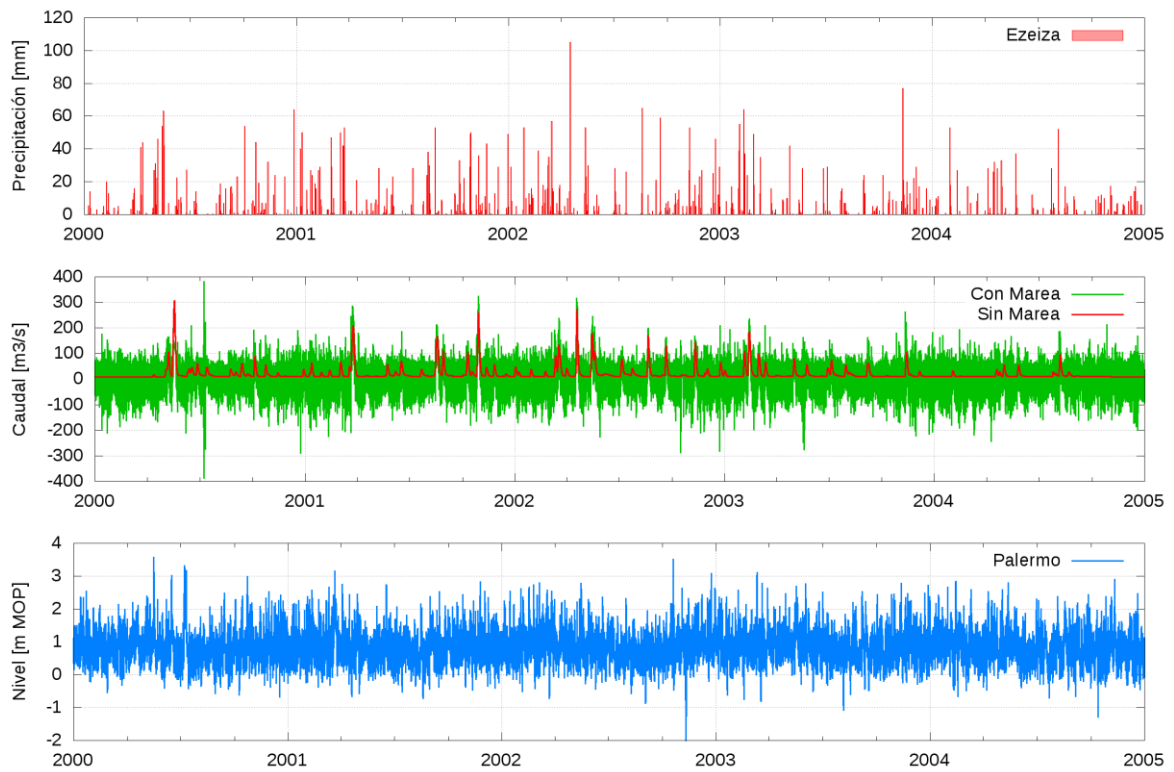
En la Figura 5.1 se presentan las series de precipitaciones diarias en Ezeiza (forzante del sistema), los caudales simulados con el modelo HDL-HDN del Matanza-Riachuelo en la Desembocadura para la condición que tiene en cuenta la dinámica del Río de la Plata (con marea) y la que no (sin marea) y los niveles observados en el Río de la Plata en la estación Palermo.



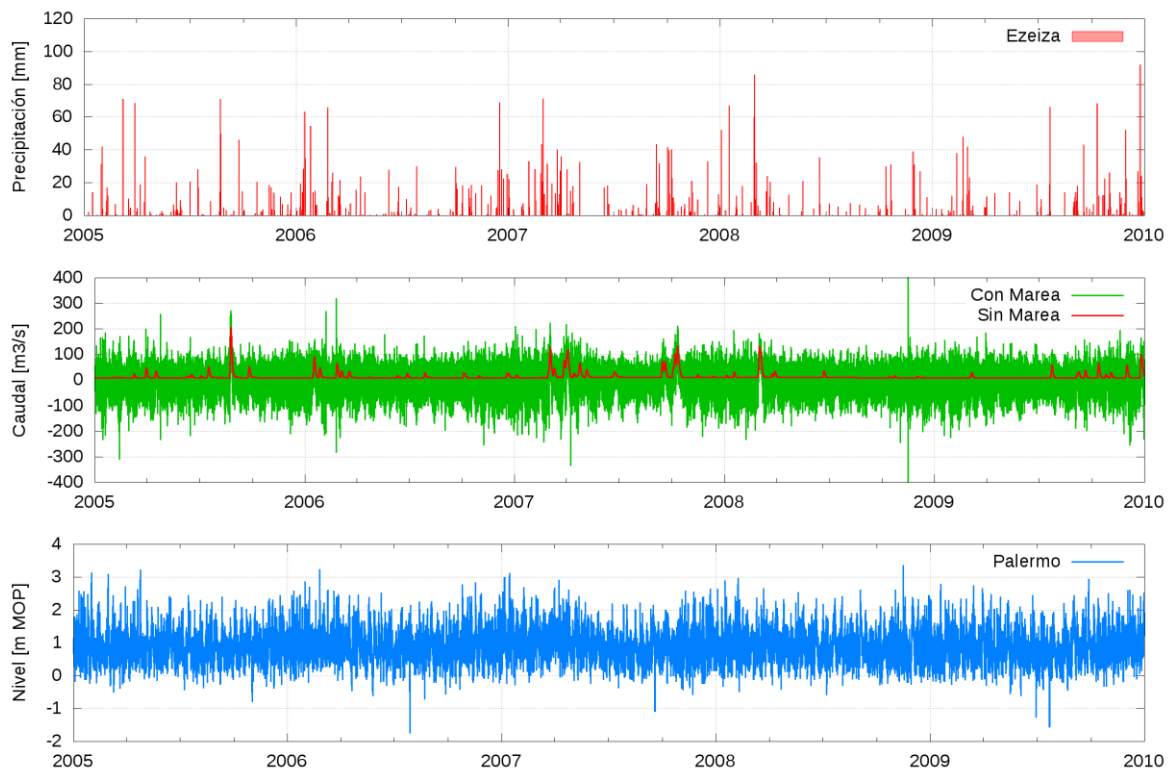
a) 1990-1994



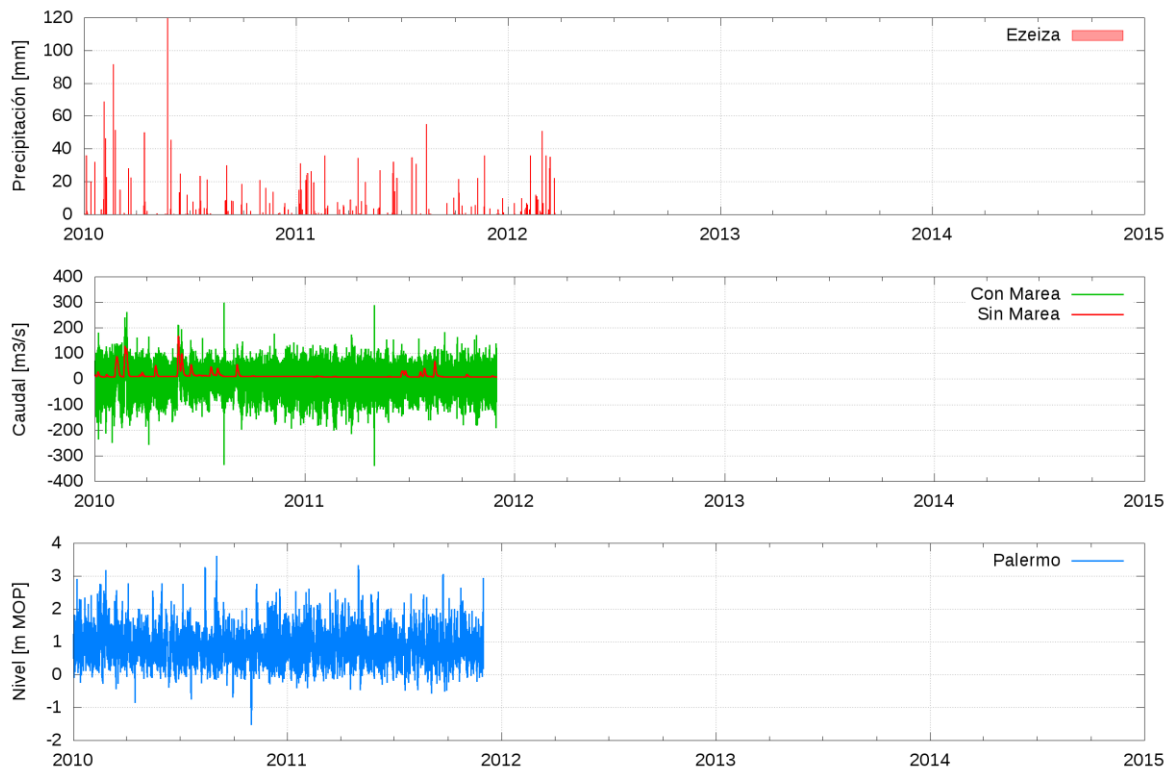
b) 1995-1999



c) 2000-2004



d) 2005-2009

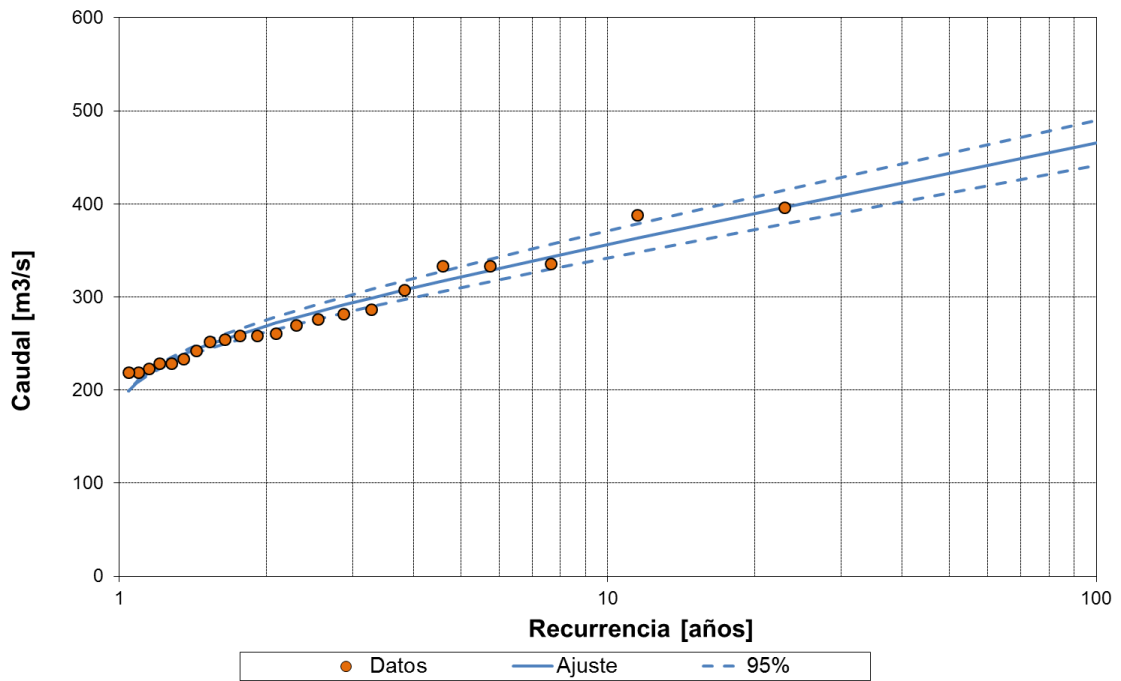


e) 2010-2014

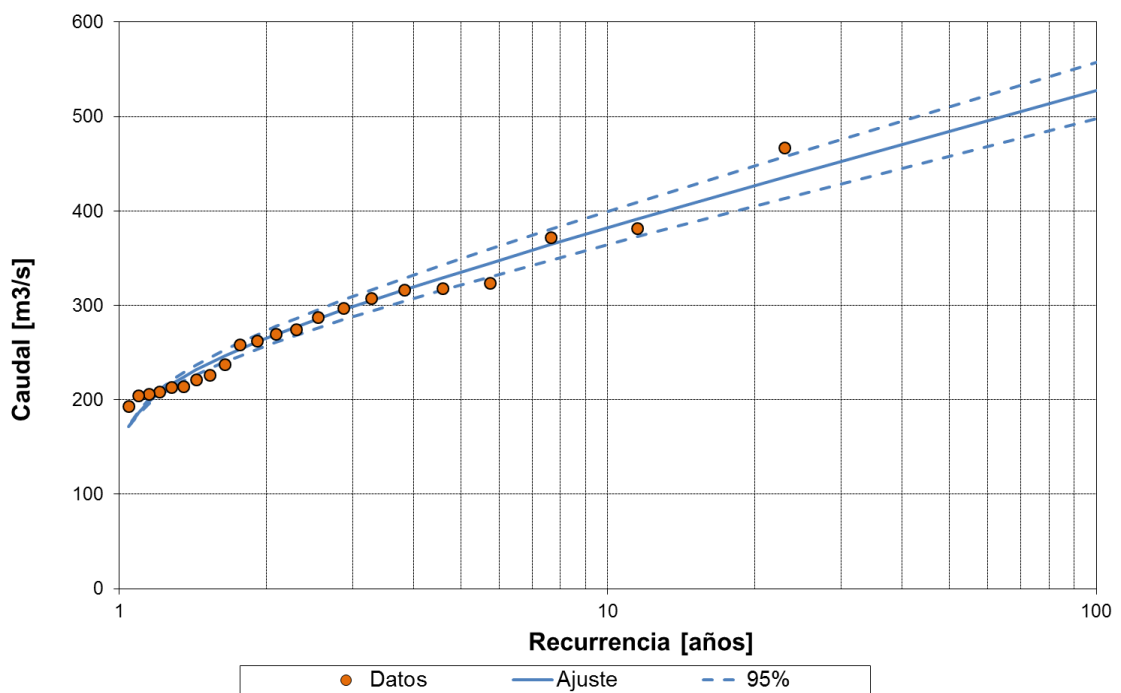
**Figura 5.1** Precipitaciones en Ezeiza, caudales simulados en la Desembocadura del Riachuelo y nivel del Río de la Plata en Palermo (Ene 1990 – Nov 2011)

A partir de las serie de caudales simulada con la condición dinámica del Río de la Plata se procedió a realizar un análisis de extremos, diferenciando caudales entrantes (el flujo entrando desde el Río de la Plata hacia el Riachuelo, valores negativos en la Figura 5.2.a) y salientes (el Riachuelo descargando al Río de La Plata, valores positivos en la Figura 5.2.b). Basado en la Teoría General de Extremos (Coles, 2001) se ajustó la Distribución Generalizada de Valor Extremo Tipo I (GEV Tipo I, Gumbel) a las series de caudales máximos anuales entrantes y salientes del Riachuelo.

Los ajustes obtenidos con el Método de los Momentos se muestran en la Figura 5.2, mientras que en la Tabla 5.1 se detallan los caudales obtenidos para distintos períodos de retorno. Se observa que para períodos de retorno bajos prácticamente no hay diferencias entre los caudales entrantes y salientes. Para los períodos de retorno mayores, a medida que estos aumentan se hacen mayores los valores de los caudales salientes que los entrantes (a igual recurrencia).



a) Entrantes



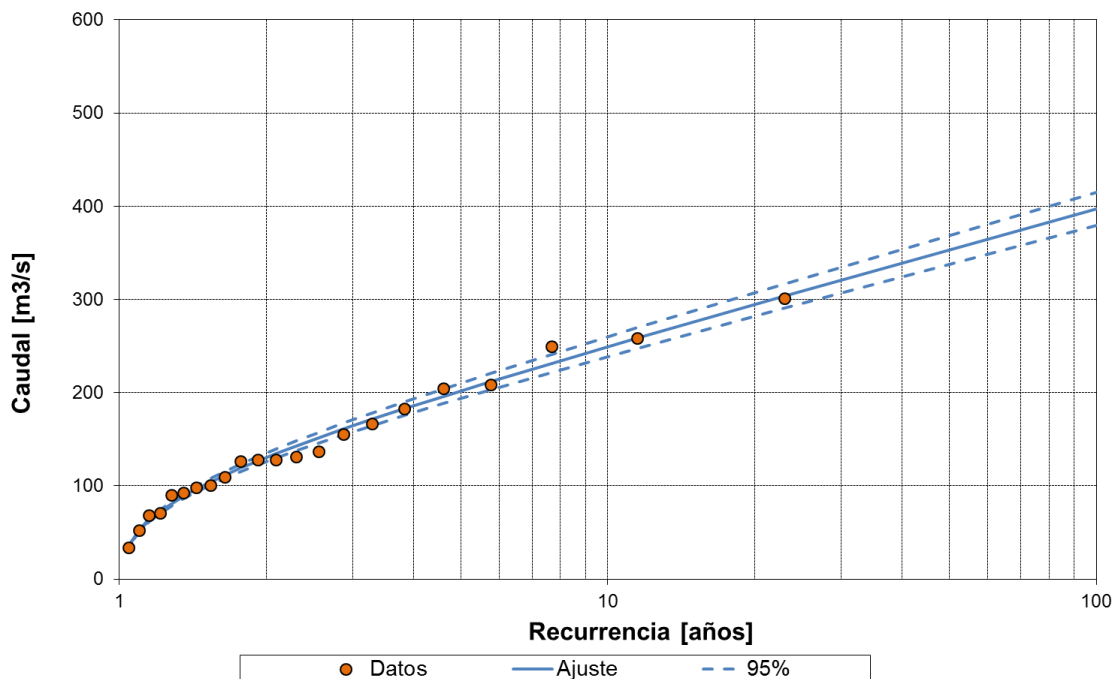
b) Salientes

**Figura 5.2.** Ajuste de las series de caudales máximos anuales simulados con la condición dinámica del Río de la Plata.

**Tabla 5.1.** Recurrencia de caudales máximos anuales (serie simulada con la condición dinámica del Río de la Plata).

Caudales salientes		Caudales entrantes	
Recurrencia [años]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]	Recurrencia [años]	Caudal [m <sup>3</sup> /s]
2	265	2	269
5	335	5	322
10	382	10	356
20	426	20	390
50	484	50	433
100	527	100	465

La Figura 5.3 muestra el ajuste de la distribución GEV Tipo I (Gumbel) de la serie de resultados de la simulación sin considerar la condición dinámica del Río de la Plata (descarga hidrológica). Los caudales asociados a períodos de retorno se presentan en forma resumida en la Tabla 5.2.



**Figura 5.3.** Ajuste de las series de caudales máximos anuales simulados sin la condición dinámica del Río de la Plata.

**Tabla 5.2.** Recurrencia de caudales máximos anuales (serie simulada sin la condición dinámica del Río de la Plata).

Recurrencia [años]	Caudal [ $m^3/s$ ]
2	131
5	202
10	249
20	295
50	353
100	397

A igual período de retorno, la diferencia que se observa entre los caudales de las series simuladas con y sin la condición dinámica del Río de la Plata, se debería a las oscilaciones en la descarga provocadas por la onda de marea.

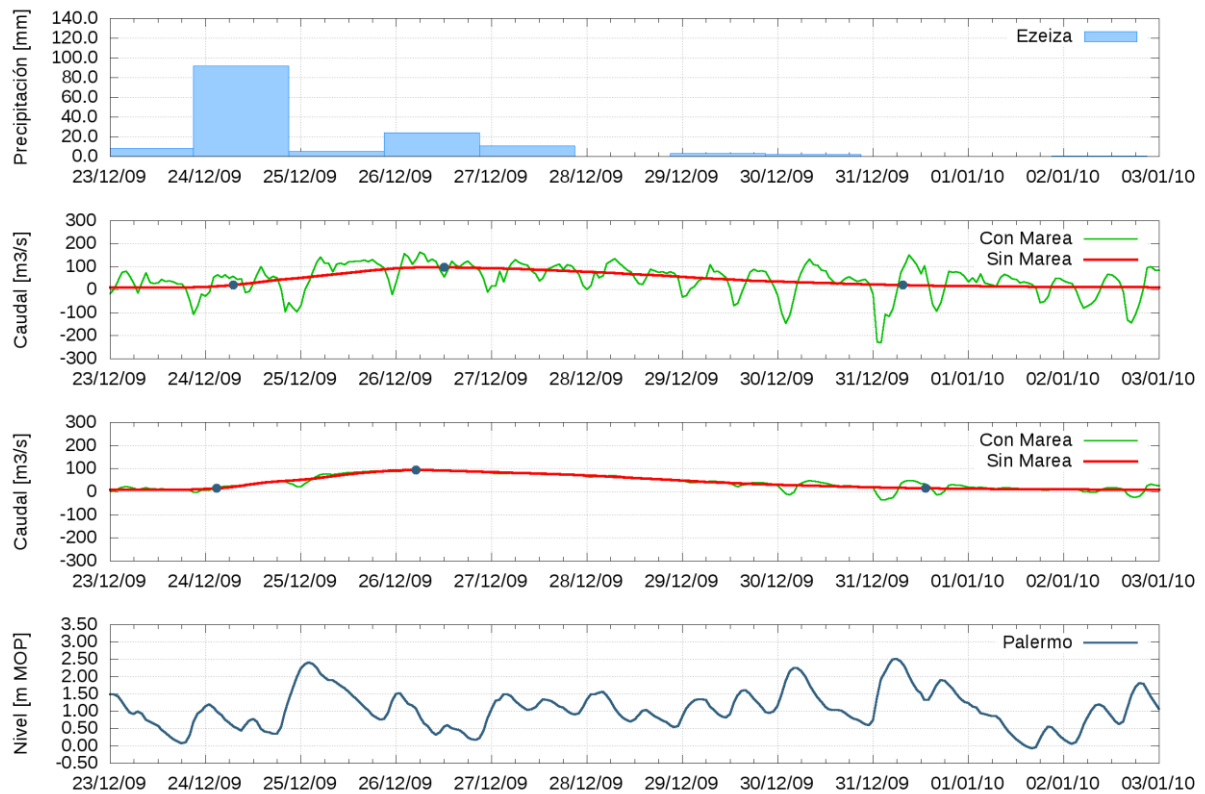
En función de estos resultados, se establecieron cuatro escenarios de modelación asociados cada uno de ellos a diferentes caudales de aporte del Riachuelo (distintos períodos de retorno), con el objetivo de evaluar varias condiciones hidrodinámicas y su impacto en la dinámica del entorno de las tomas de la Central Costanera (ver capítulo siguiente). Como primera aproximación, se descartaron los resultados de la serie de caudales que incluye la condición dinámica del Río de la Plata, estableciendo criterios en términos de la descarga hidrológica. Los escenarios de modelación seleccionados corresponden a descargas hidrológicas del Riachuelo de 10, 100, 200 y 400  $m^3/s$ , caudales asociados a recurrencias aproximadas de 1, 2, 5 y 100 años, según lo indicado por la Tabla 5.2. Si bien este criterio dista del comportamiento real del sistema Río de La Plata – Riachuelo, el hecho de mantener el nivel constante, implica tomar una hipótesis conservativa al momento de definir tiempos de traslados de residuos sólidos flotantes.

## 5.2 Traslado de onda de crecida

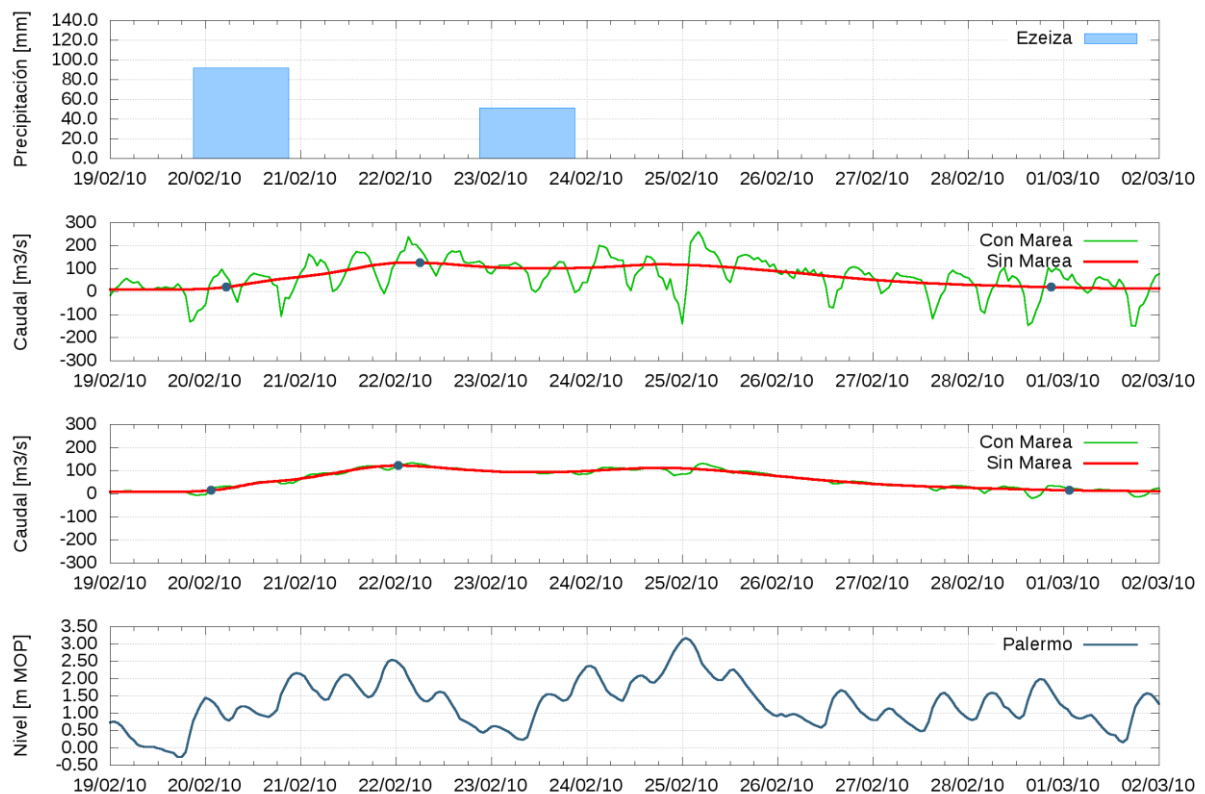
Para analizar los tiempos de traslado de la onda de crecida en el tramo Riachuelo del río Matanza-Riachuelo, se detectaron aquellas tormentas con una precipitación mayor a 80  $mm$  durante un día del sub-período de simulación Ene 2009 – Nov 2011 (coincidente con la etapa de aparición del problema de salida de servicio temporal de la Central Térmica Costanera).

Las tormentas detectadas son las siguientes:

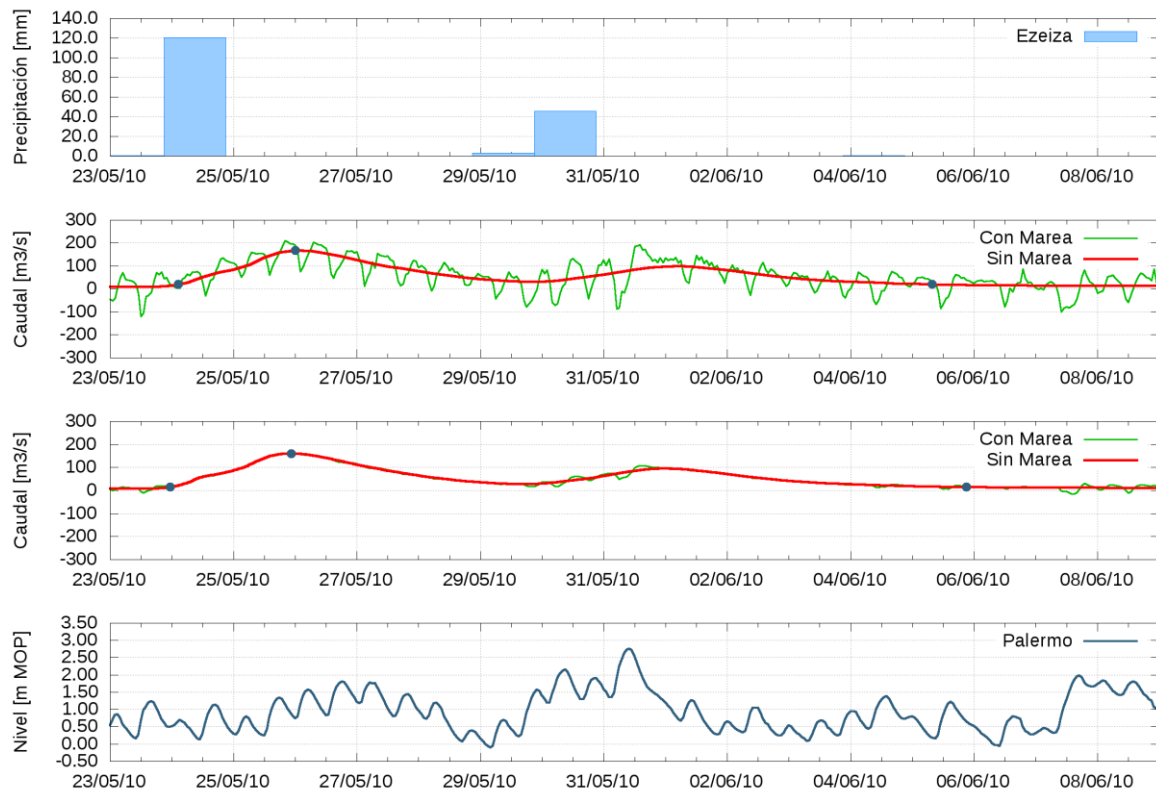
- Tormenta Diciembre 2009 (Figura 5.4)
- Tormenta Febrero 2010 (se observan dos picos debidos a pulsos de precipitación distintos (Figura 5.5).
- Tormenta Mayo 2010: Las condiciones previas de la cuenca hacen que 40  $mm$  provoquen un pico de aproximadamente 100  $m^3/s$ , con un primer pico de caudal de 160  $m^3/s$  (Figura 5.6).



**Figura 5.4.** Tormenta Diciembre 2009: precipitación en Ezeiza, hidrograma en Central Costanera, hidrograma en Puente La Noria y nivel en Palermo.



**Figura 5.5.** Tormenta Febrero 2010: precipitación en Ezeiza, hidrograma en Central Costanera, hidrograma en Puente La Noria y nivel en Palermo.



**Figura 5.6.** Tormenta Mayo 2010: precipitación en Ezeiza, hidrograma en Central Costanera, hidrograma en Puente La Noria y nivel en Palermo.

Con el objetivo de establecer una temporalidad de los efectos de las tormentas, se adopta como inicio y fin del hidrograma de crecida al momento en que se da un caudal igual al doble del caudal base en el punto en cuestión: en el punto vinculado a Central Costanera  $20 \text{ m}^3/\text{s}$  y en Puente La Noria  $15 \text{ m}^3/\text{s}$  (valores tomados de la serie de caudales simulados sin la acción dinámica del Río de la Plata).

Vinculado con el transporte y destino de los residuos sólidos flotantes, los hitos temporales importantes de los hidrogramas de tormenta resultan el comienzo y el pico, de menor relevancia resulta el final. Estos tres hitos se observan como puntos azules sobre los gráficos de caudales. En la Tabla 5.3 se resumen los valores obtenidos en Central Costanera y Puente La Noria para la serie simulada sin la condición dinámica del Río de la Plata. Al analizar esta variable la influencia de incluir o no la acción dinámica del Río de la Plata resulta poco relevante. A mayores caudales, menores tiempos de arribo al pico de la onda de crecida. Las diferencias en el inicio son menos evidentes ante la variación del caudal.

**Tabla 5.3.** Caudales pico y diferencias en los tiempos del hidrograma de crecida: Puente La Noria y Central Costanera.

Tormenta	$Q_{\max}$ Central Costanera [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$Q_{\max}$ Puente La Noria [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	Diferencia inicio de hidrograma	Diferencia de ocurrencia del pico
Dic 2009	98,4	93,7	4hs 10min	7hs 00min
Feb 2010	127,4	122,1	3hs 50min	5hs 30min
May 2010	168,3	160,9	3hs 00min	2hs 30min

## 6 SIMULACIÓN HIDRODINÁMICA DEL RÍO DE LA PLATA

### 6.1 Escenarios de modelación

En este capítulo se presentan distintas modelaciones hidrodinámicas del Río de la Plata, enfocándose el análisis en la zona aledaña a la Central Térmica Costanera. A partir de los resultados obtenidos de la simulación del Matanza–Riachuelo sin la acción dinámica del Río de la Plata, se plantearon los escenarios que se presentan en la Tabla 6.1. El caudal en la Toma U1-U7 ( $52 \text{ m}^3/\text{s}$ ), se compone de las sumas de lo que ingresa a las Unidades 1 a 5 ( $24 \text{ m}^3/\text{s}$ ), la Unidad 6 ( $14 \text{ m}^3/\text{s}$ ) y la Unidad 7 ( $14 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

*Tabla 6.1. Resumen de escenarios.*

Escenario	Nivel [m MOP]	Caudales [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]		
	Palermo	Riachuelo	Toma U1-U7	Toma CC
A	0,90	10	52	16
B	0,90	100	52	16
C	0,90	200	52	16
D	0,90	400	52	16

El escenario A está relacionado con el caudal antrópico del Matanza-Riachuelo. Los escenarios B, C y D se corresponden con caudales del Riachuelo asociados a períodos de retorno de 2, 5 y 100 años.

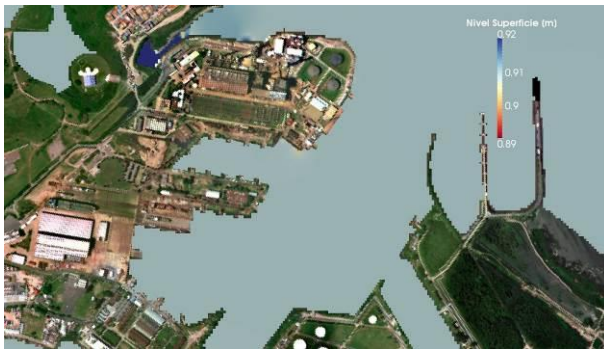
La Figura 6.1 muestra los niveles del río en la zona de estudio, manteniéndose en todos los escenarios en valores cercanos a los  $0,90 \text{ m MOP}$ , que es la condición de borde impuesta en el modelo.

En la Figura 6.2 se pueden ver, para los cuatro escenarios, la distribución de los módulos de velocidad y tubos de corriente. Cada escenario presenta 20 tubos de corriente provenientes del Riachuelo (en color blanco). Es decir por cada tubo pasa el 5% del caudal proveniente del mencionado río.

La Figura 6.2.a muestra módulos de velocidad muy bajas en toda la zona de estudio, excepto en las tomas y descargas de la Central Térmica, donde se aprecian módulos mayores a  $0,50 \text{ m/s}$ . En este escenario, el Riachuelo al descargar solo  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ , se puede observar que la Central Costanera se ve forzada a tomar agua proveniente del Río de la Plata (tubos de corriente rojos).

Cuando la descarga del Riachuelo es de  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 6.2.b) se aprecia que las tomas de la Central Costanera no necesitan tomar agua del Río de la Plata y aparecen módulos de velocidad

en la desembocadura del orden de  $0,15 \text{ m/s}$  (en particular las mayores velocidades aparecen sobre el canal dragado del Riachuelo). El análisis de las Figuras 6.2.c y 6.2.d es similar al realizado anteriormente, solo encontrándose diferencias en los módulos de velocidad observados, que están en el orden de los  $0,20$  y  $0,35 \text{ m/s}$ , respectivamente.



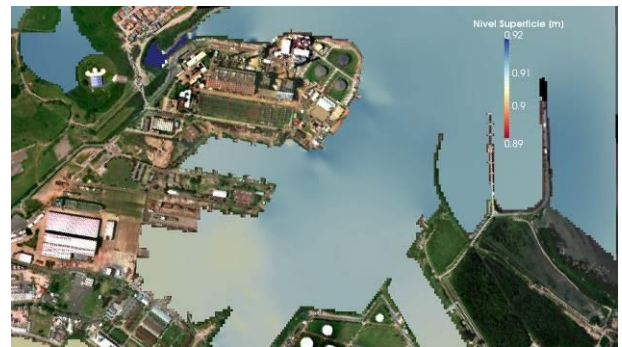
a) Escenario A



b) Escenario B

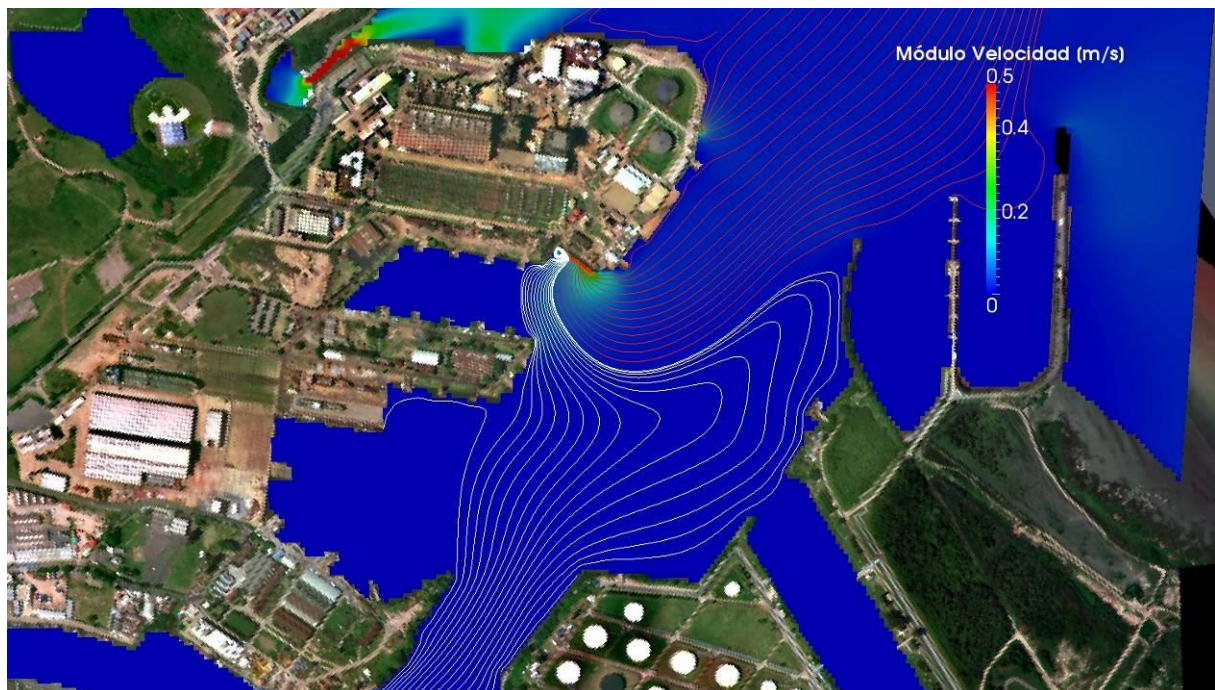


c) Escenario C

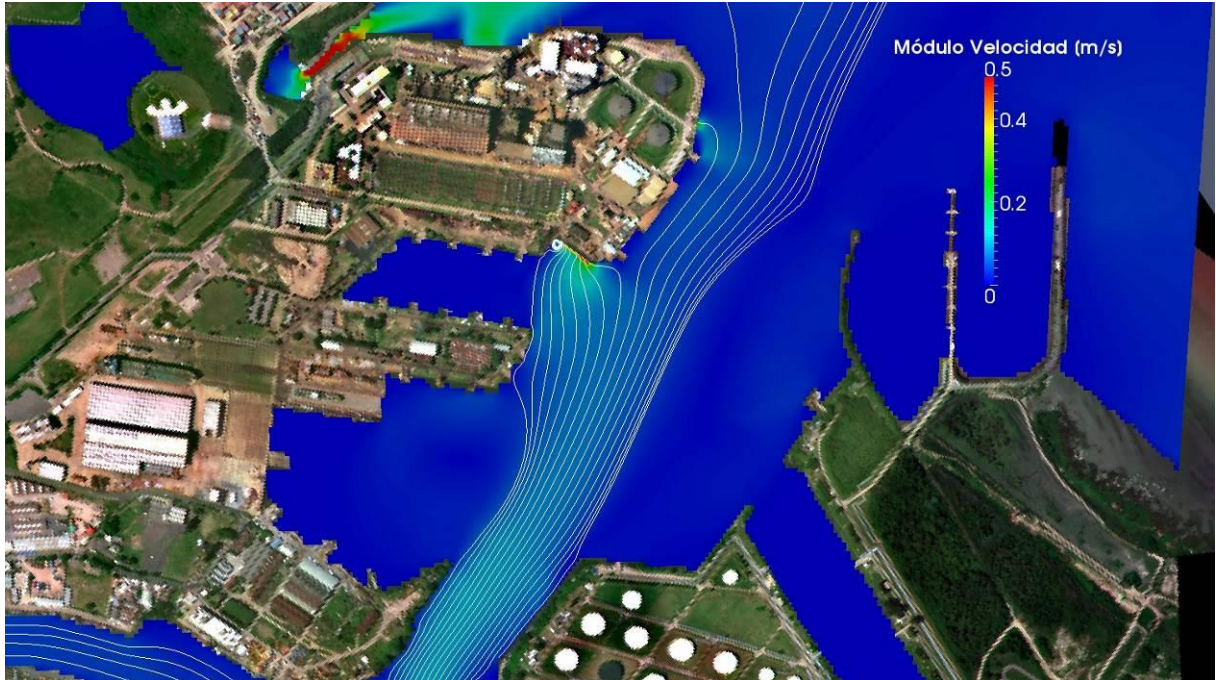


d) Escenario D

**Figura 6.1. Niveles (m MOP)**



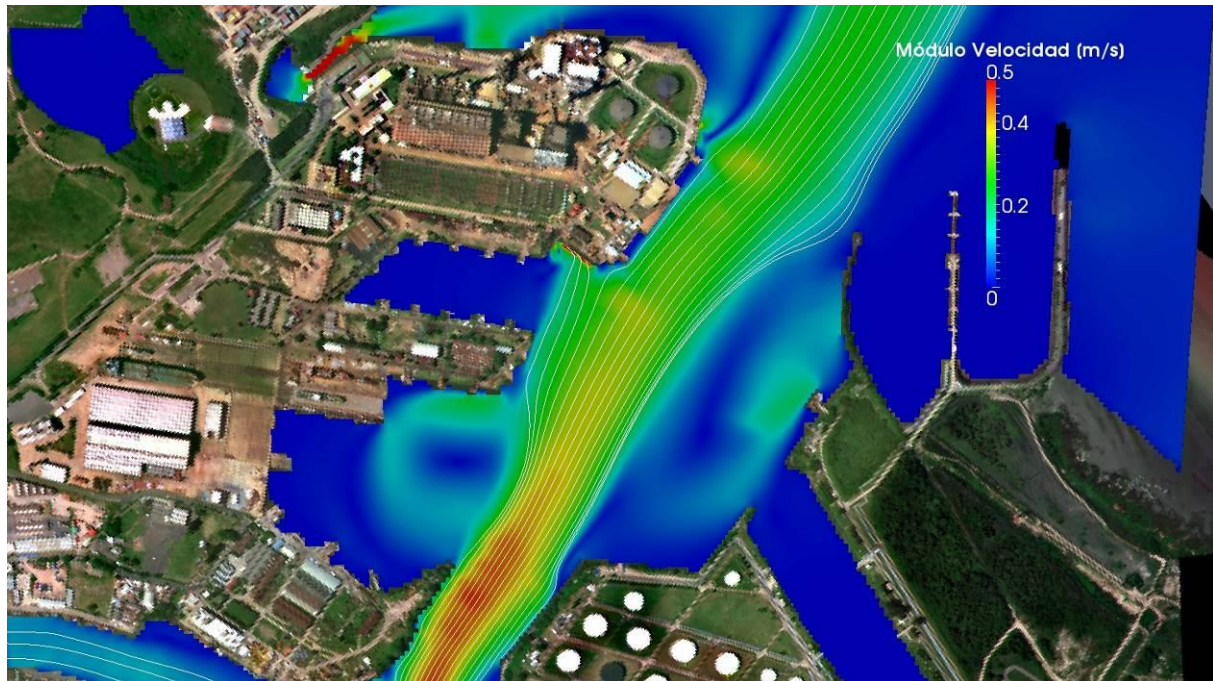
a) Escenario A. Tubos de corriente de  $0,5 \text{ m}^3/\text{s}$ .



b) Escenario B. Tubos de corriente de  $5 \text{ m}^3/\text{s}$ .



c) Escenario C. Tubos de corriente de  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .



d) Escenario D. Tubos de corriente de  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ .

**Figura 6.2.** Módulos de velocidad y tubos de corriente.

## 6.2 Alternativas de mitigación del problema

Como posible mitigación al problema de la salida de servicio de las bombas de succión de las tomas de las Unidades 1 a 7 por presencia de residuos sólidos en los filtros, a primera aproximación se plantearon dos alternativas:

- a) Construcción de una pantalla con tablestacas que cubra la zona de las tomas, y
- b) Utilización de una barrera flotante de mayor envergadura en la zona cercana a las tomas.

La primera alternativa intenta controlar los sedimentos resuspendidos por el tráfico de embarcaciones que entran y salen del dique que separa el Complejo CINAR y la Central Costanera y tener mejor manejo de los residuos sólidos flotantes que puedan llegar a los filtros de las tomas.

La segunda alternativa se enfoca solamente en tener controlados a los residuos sólidos flotantes que puedan llegar afectar la operación de los filtros y bombas de succión.

En las secciones siguientes se analizan, desde el punto de vista hidrodinámico, ambas propuestas.

### 6.2.1 Pantalla de tablestacas

Para esta solución, se plantearon 4 variantes de obra de tablestacado. Las mismas tienen distintas longitudes, tal como se muestra en la Figura 6.3

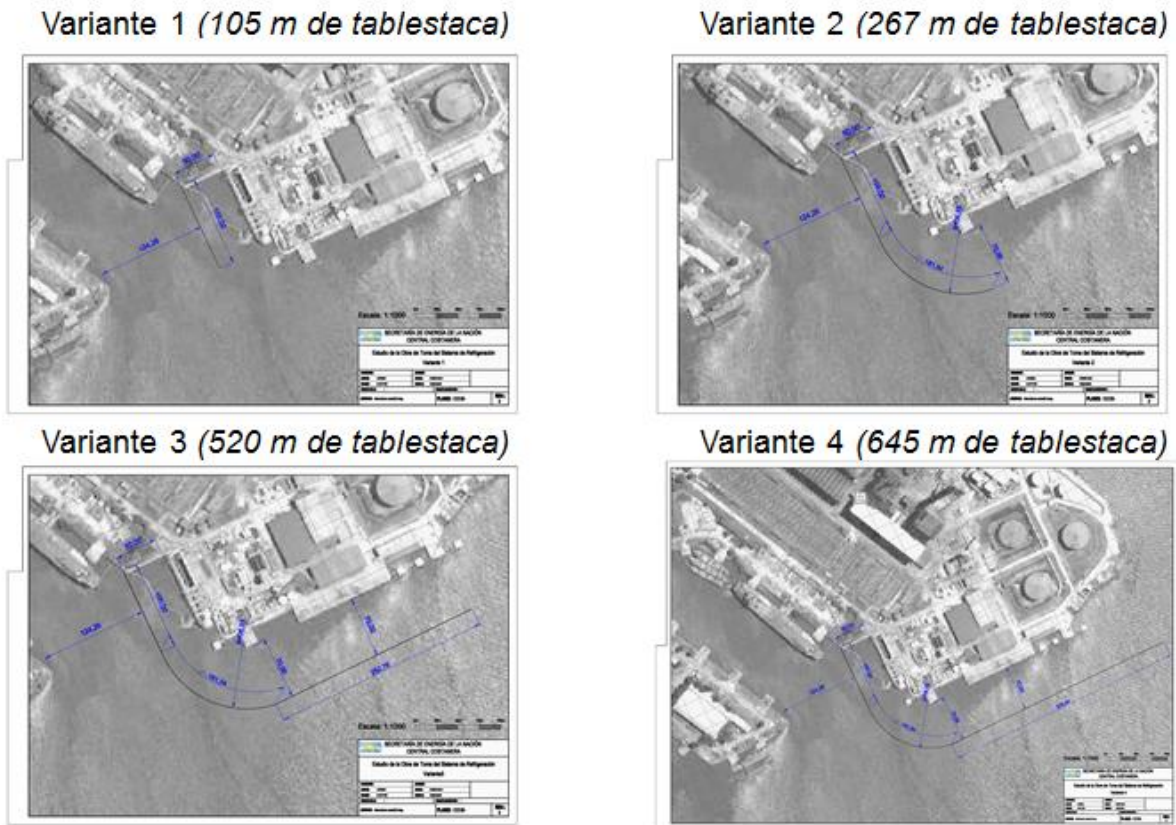
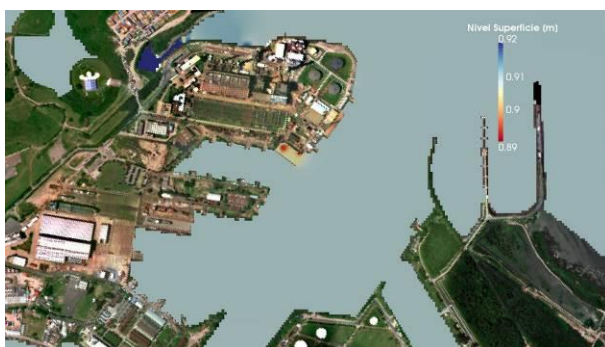
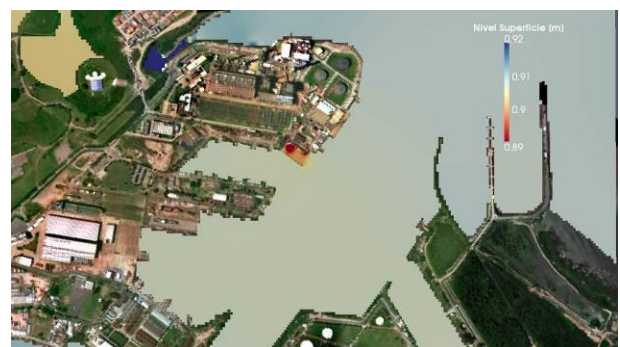


Figura 6.3. Alternativas de tablestacado.

Las Figuras 6.4 y 6.5 muestran, respectivamente, niveles y módulos de velocidad junto con tubos de corrientes para los cuatro escenarios presentados en la Tabla 6.1 para la Variante 1 de la obra de tablestacado. Todos los escenarios muestran una recirculación del flujo frente a las tomas, con un aumento considerable de las velocidades en dicha zona, respecto del escenario sin obras (Figura 6.2). La distribución de los tubos de corrientes no cambia significativamente respecto de la situación sin obras.



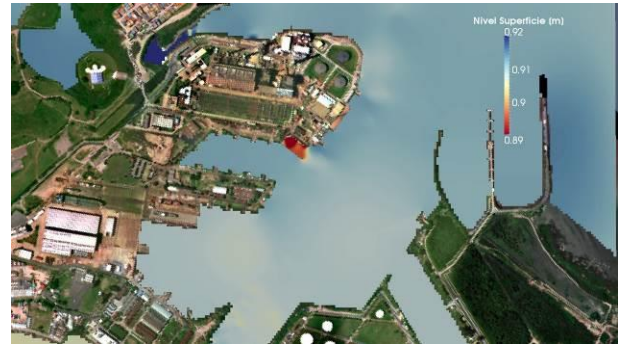
a) Escenario A



b) Escenario B

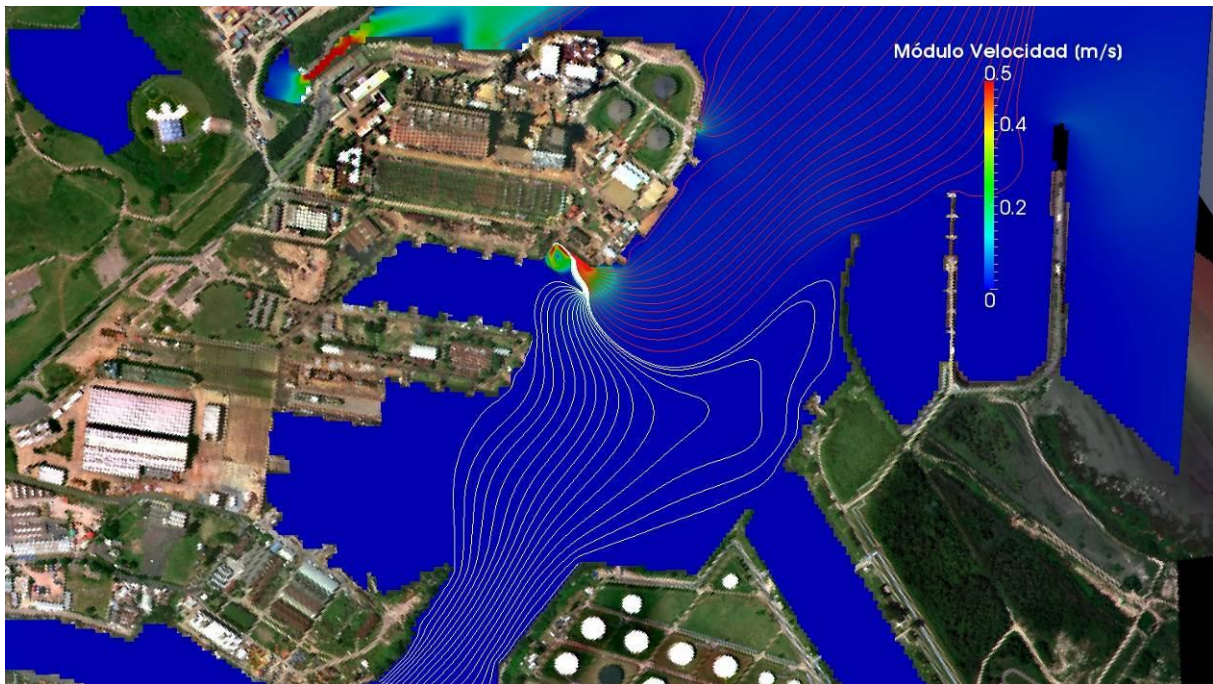


c) Escenario C

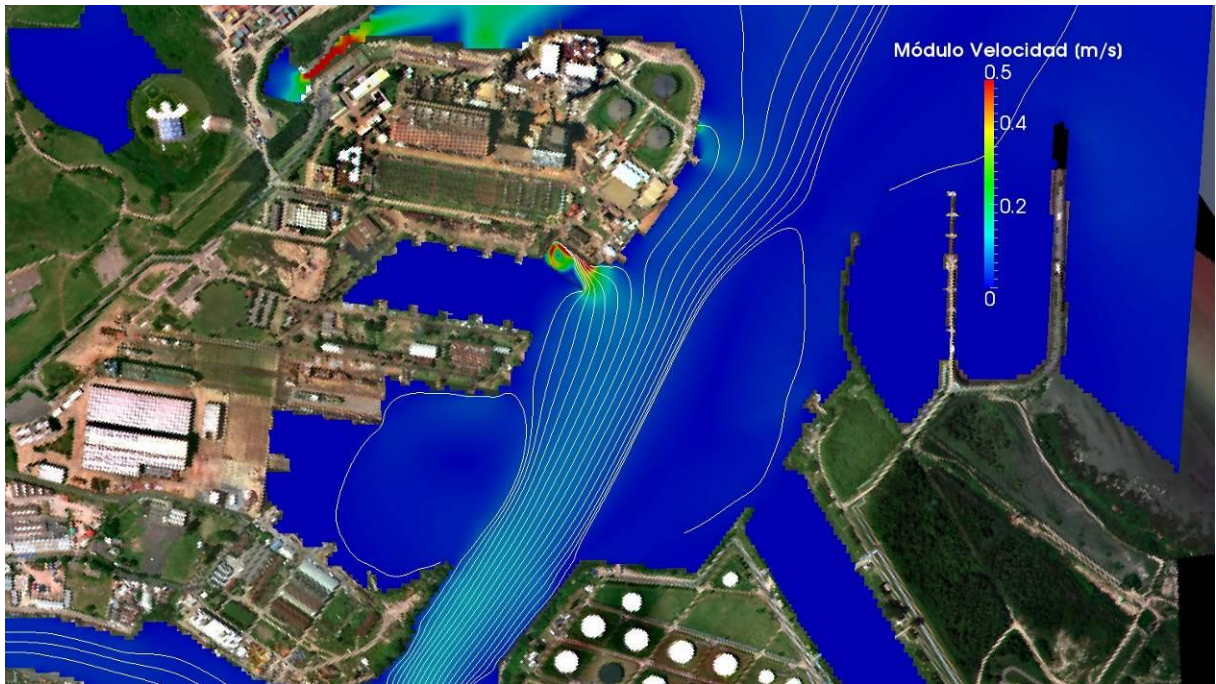


d) Escenario D

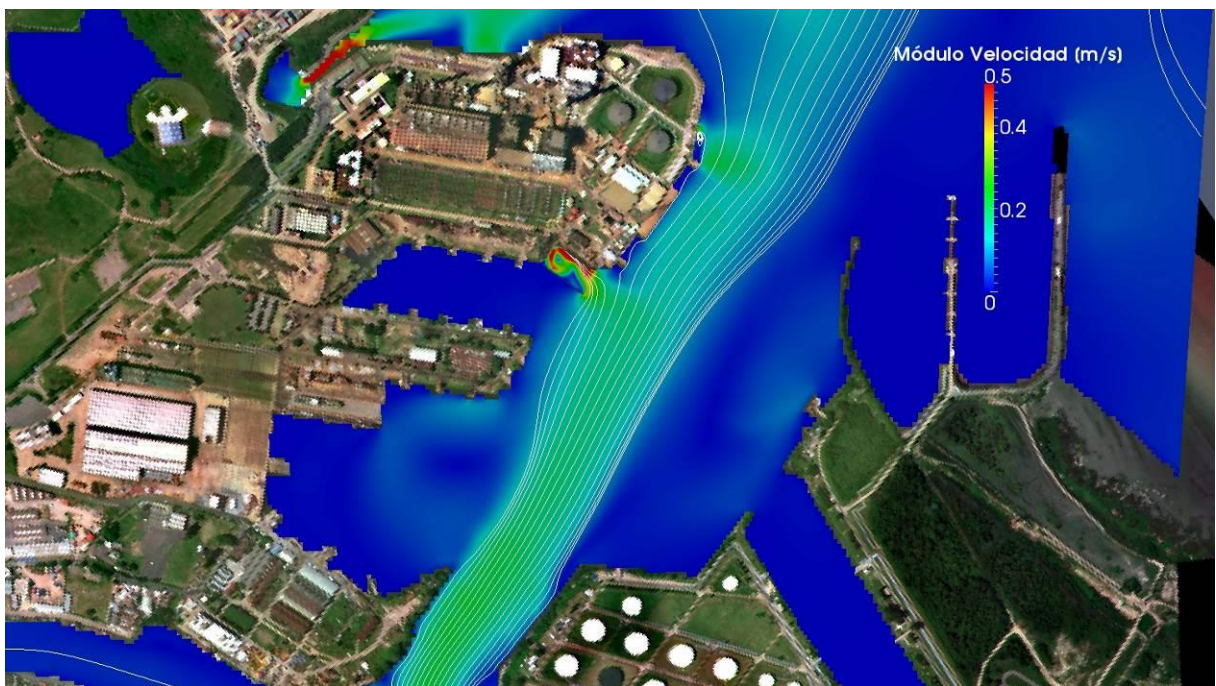
**Figura 6.4. Niveles (m MOP)**



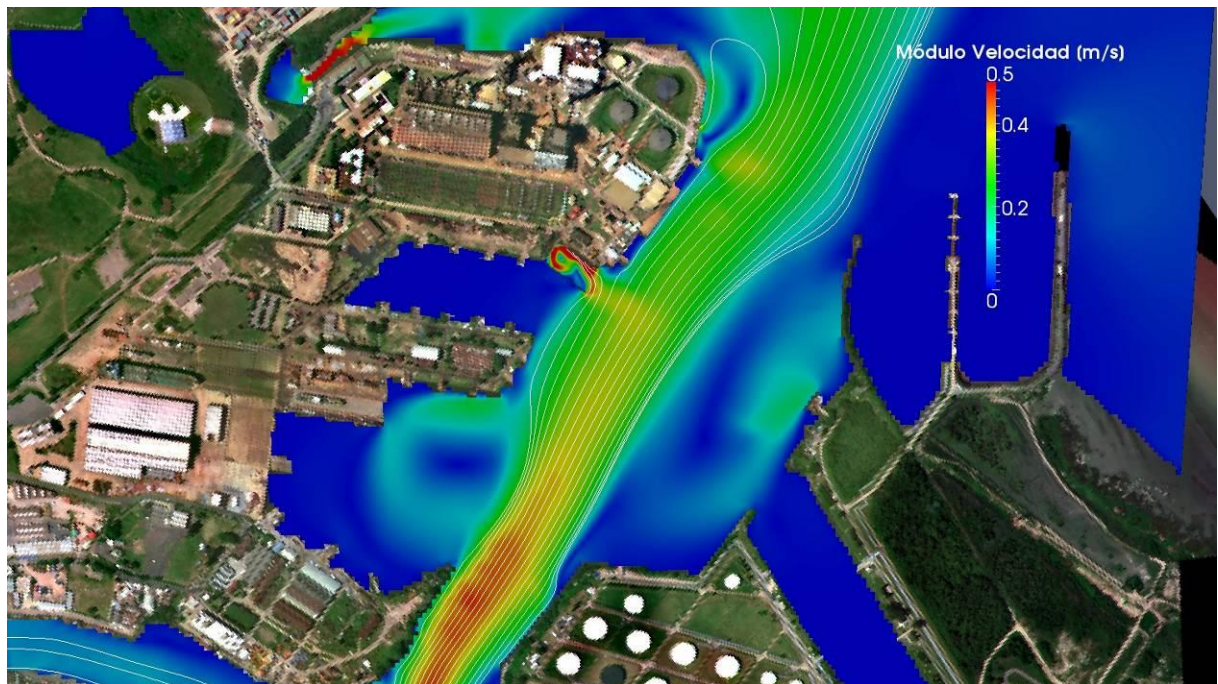
a) Escenario A



b) Escenario B



c) Escenario C

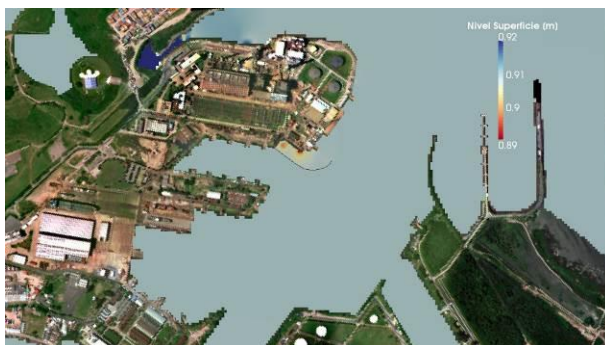


d) Escenario D

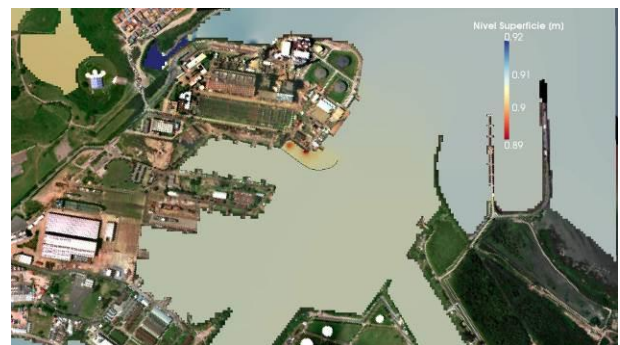
**Figura 6.5.** Módulos de velocidad y tubos de corriente. Variante 1 de la obra de tablestacado.

En las Figuras 6.6 y 6.7 se observan, respectivamente, niveles y módulos de velocidad junto con tubos de corrientes para todos los escenarios para la Variante 2 de la obra de tablestacado. En todos los casos se observan mayores velocidades en la zona confinada por el Tablestacado (valores del orden de 0,30 al.

Para el Escenario D (Figura 6.7.d) se advierte un aumento en la longitud de los tubos de corrientes que son llamados por la obra de toma de las Unidades 1 a 7.



a) Escenario A



b) Escenario B

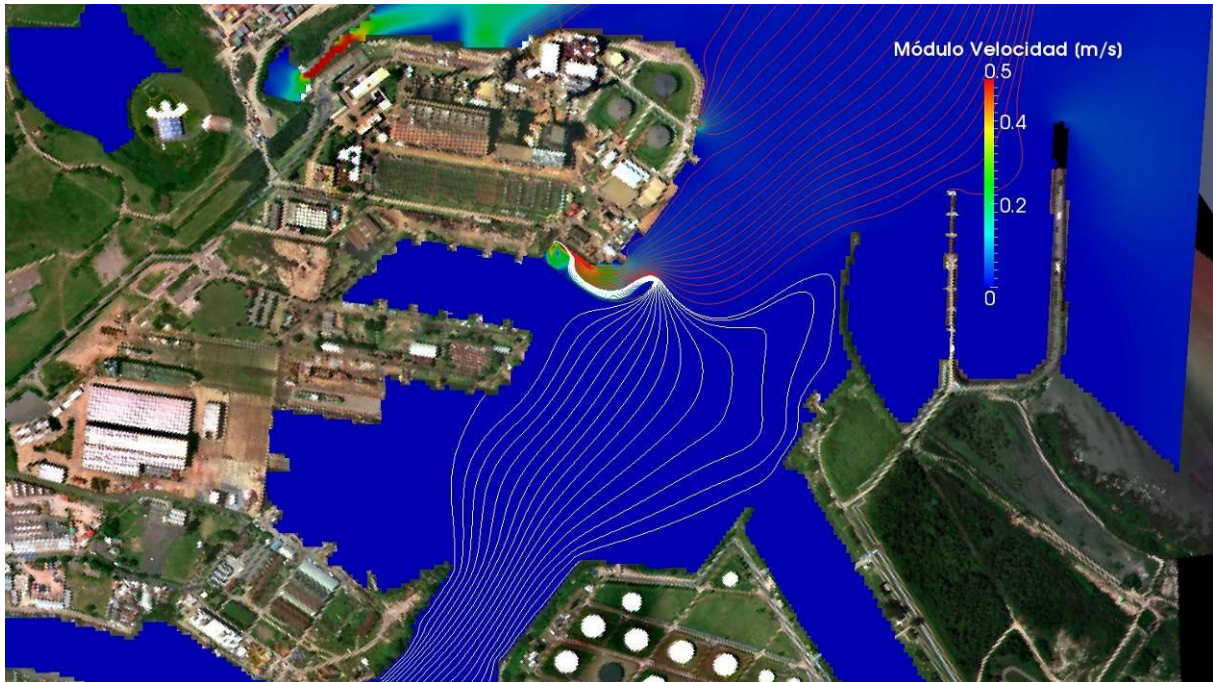


c) Escenario C



d) Escenario D

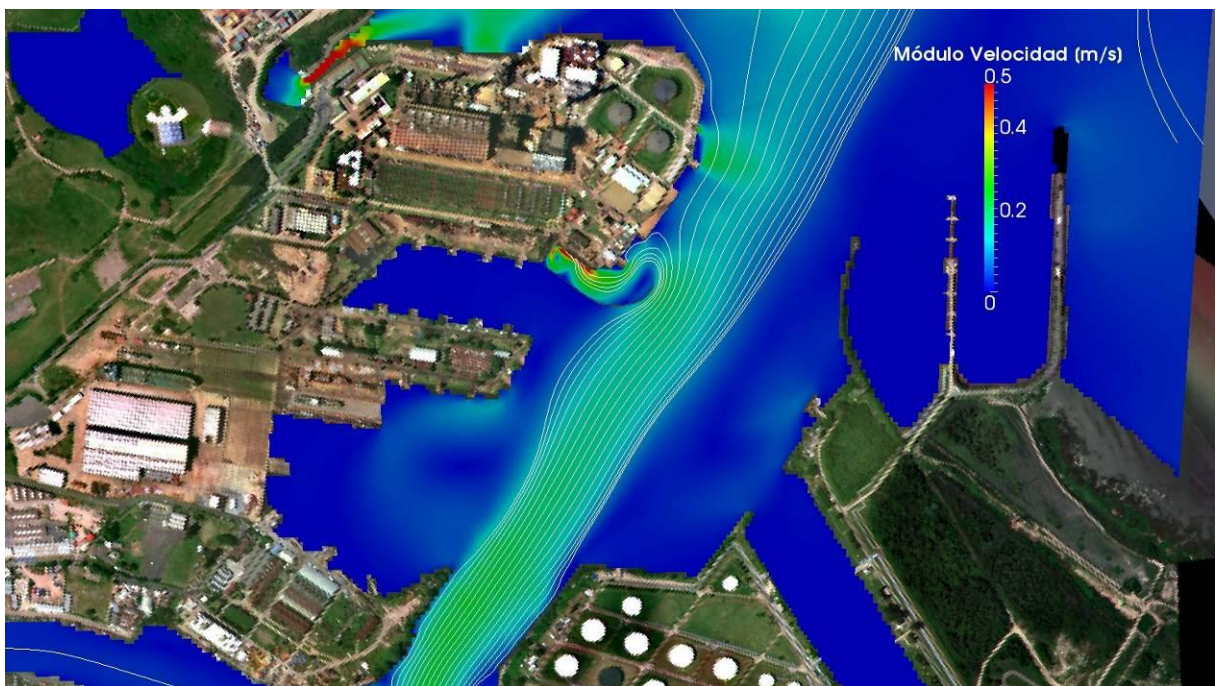
**Figura 6.6. Niveles (m MOP)**



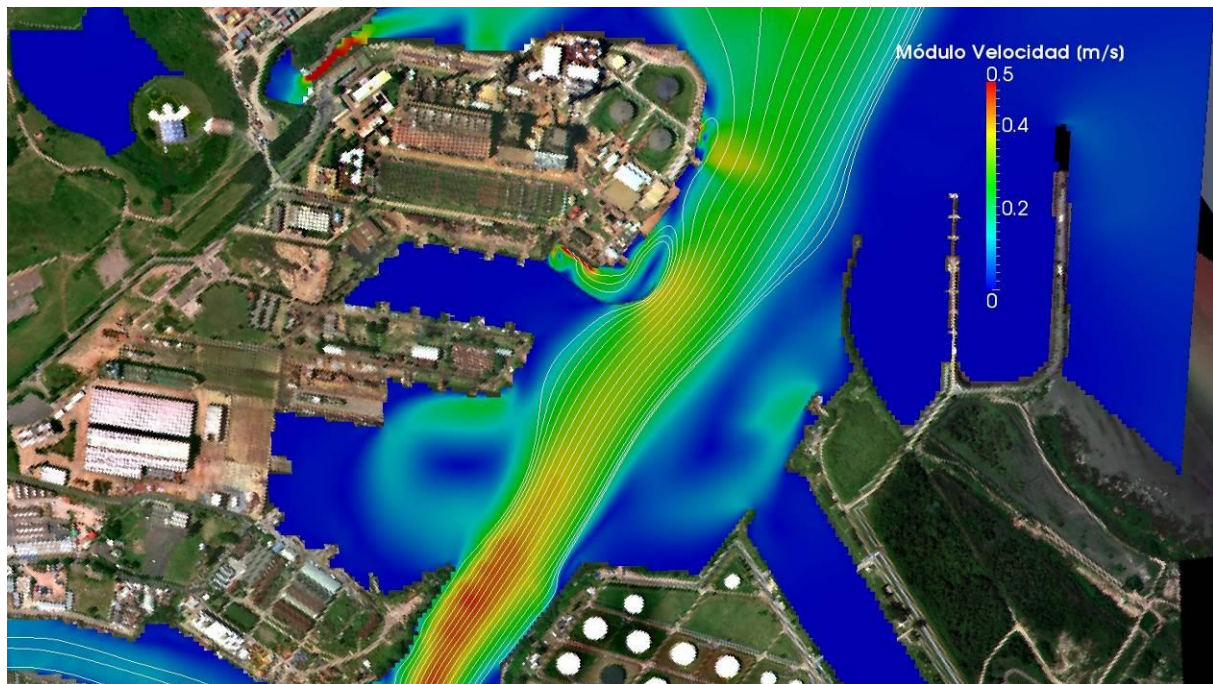
a) Escenario A



b) Escenario B



c) Escenario C

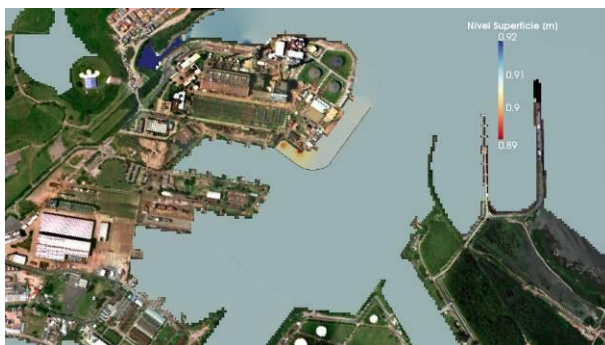


d) Escenario D

**Figura 6.7.** Módulos de velocidad y tubos de corriente. Variante 2 de la obra de tablestacado.

En las Figuras 6.8 y 6.9 se observan, respectivamente, niveles y módulos de velocidad junto con tubos de corrientes para todos los escenarios para la Variante 3 de la obra de tablestacado. Todos los escenarios muestran velocidades mayores que en el entorno en la zona confinada por el tablestacado (valores del orden de  $0,30 \text{ m/s}$ ).

Para el Escenario A, se observan velocidades en la pared interna del tablestacado mayores a  $0,50 \text{ m/s}$  (Figura 6.9.a). La longitud de los tubos de corrientes que son llamados por la obra de toma es similar para los cuatro escenarios.



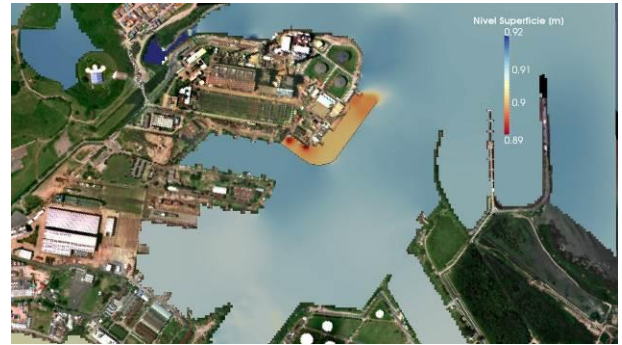
a) Escenario A



b) Escenario B



c) Escenario C

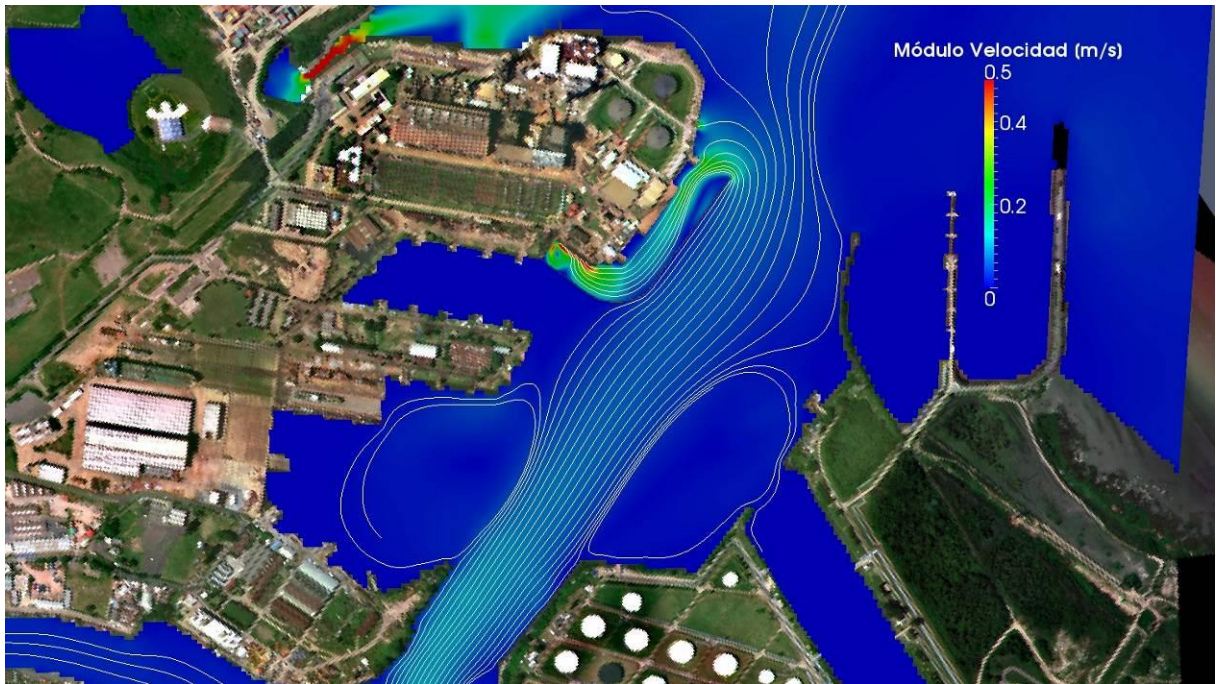


d) Escenario D

**Figura 6.8. Niveles (m MOP)**



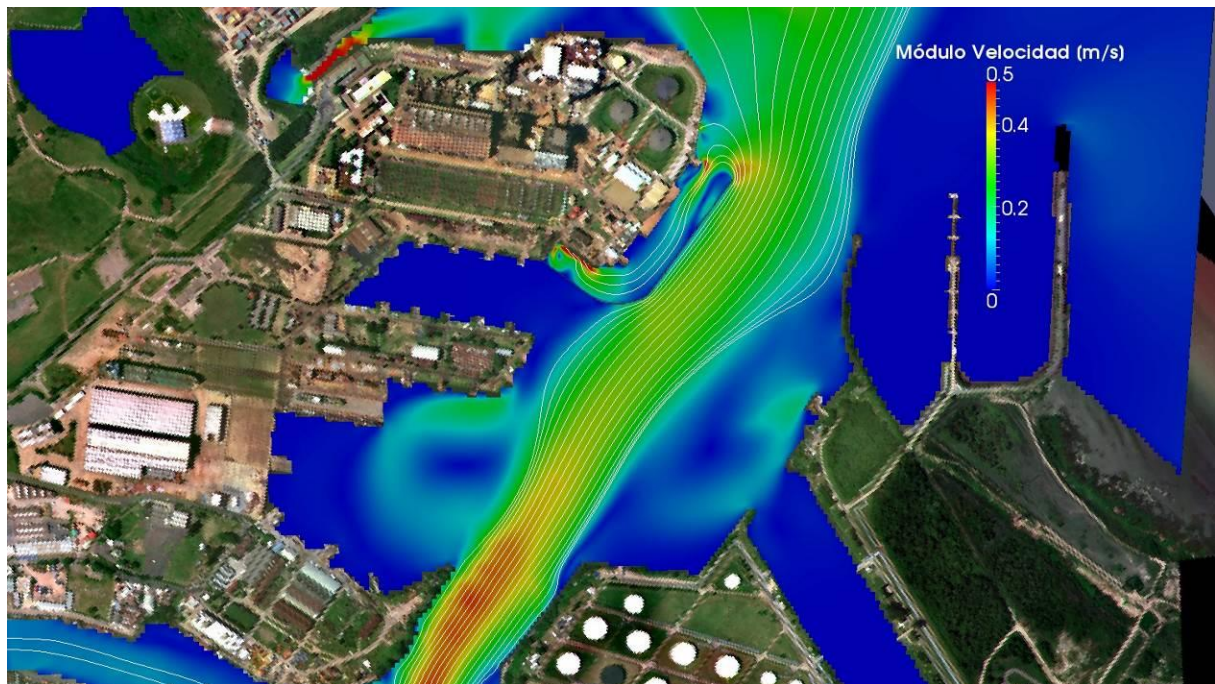
a) Escenario A



b) Escenario B



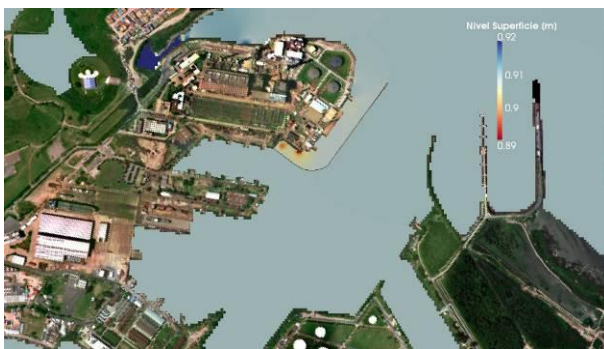
c) Escenario C



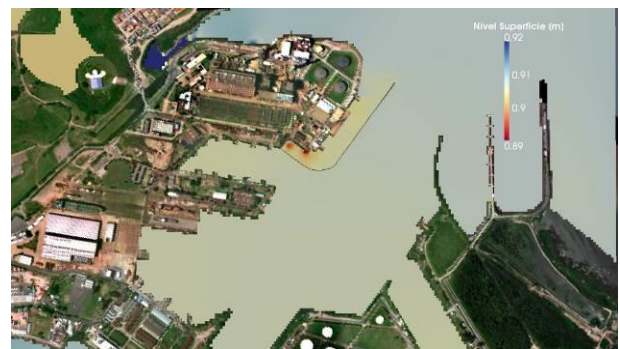
d) Escenario D

**Figura 6.9.** Módulos de velocidad y tubos de corriente. Variante 3 de la obra de tablestacado.

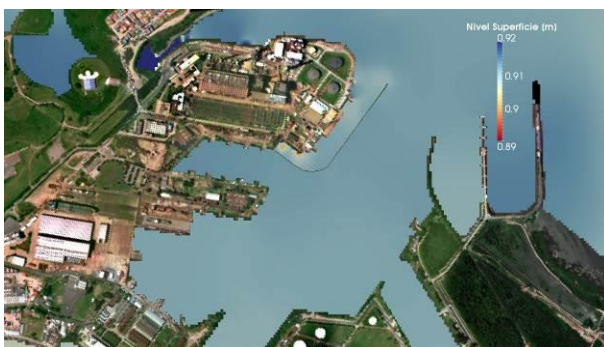
Las Figuras 6.10 y 6.11 muestran, respectivamente, niveles y módulos de velocidad junto con tubos de corrientes para la Variante 4 para todos los escenarios. El análisis para esta opción es similar al realizado para la Variante 3.



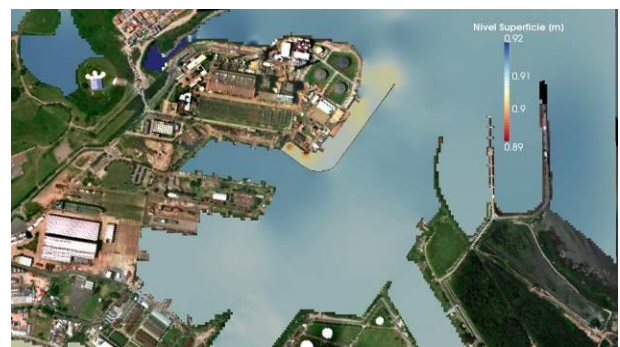
a) Escenario A



b) Escenario B

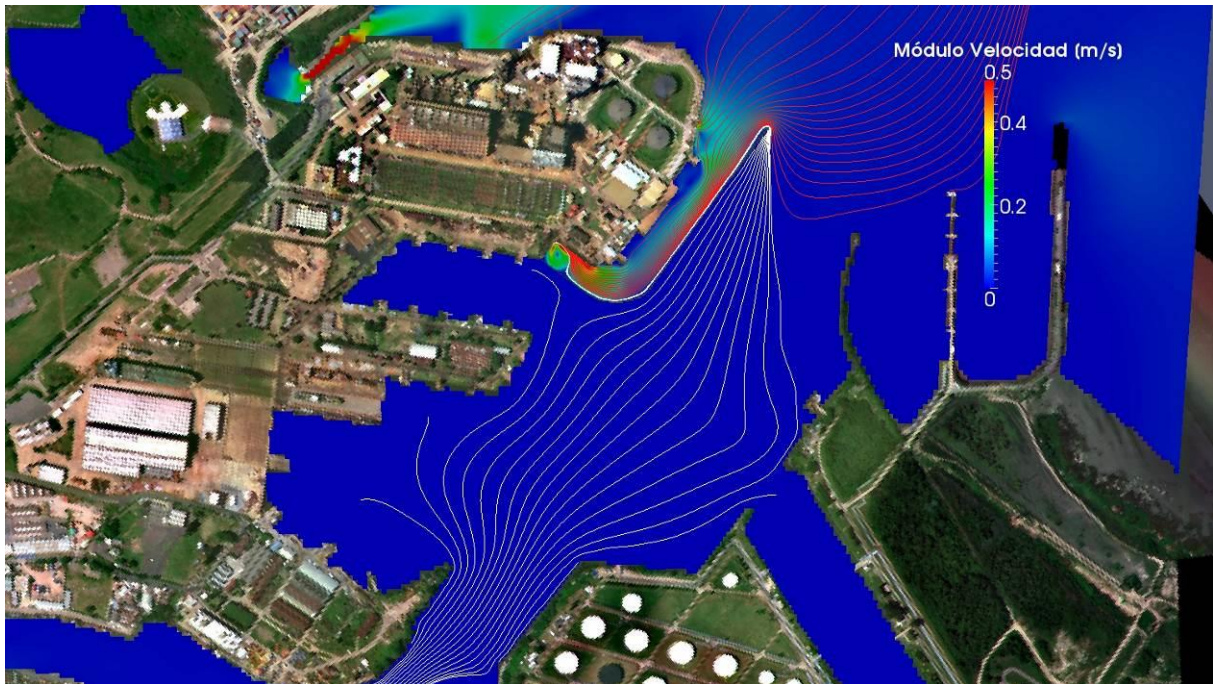


c) Escenario C

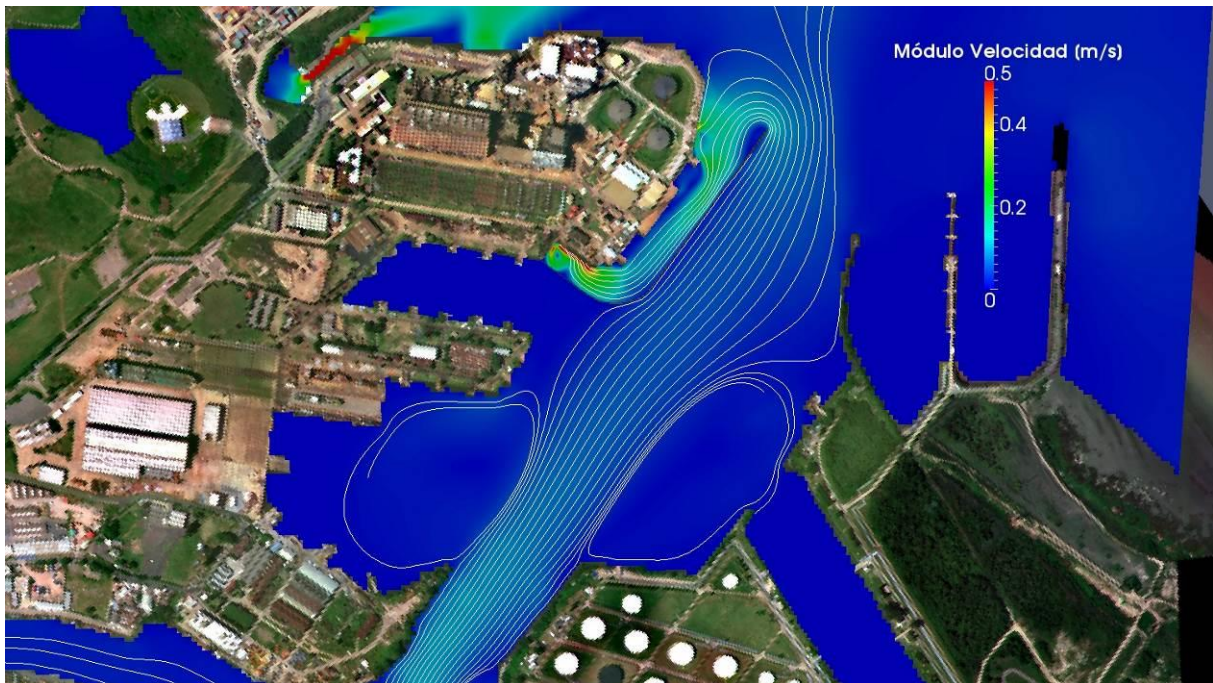


d) Escenario D

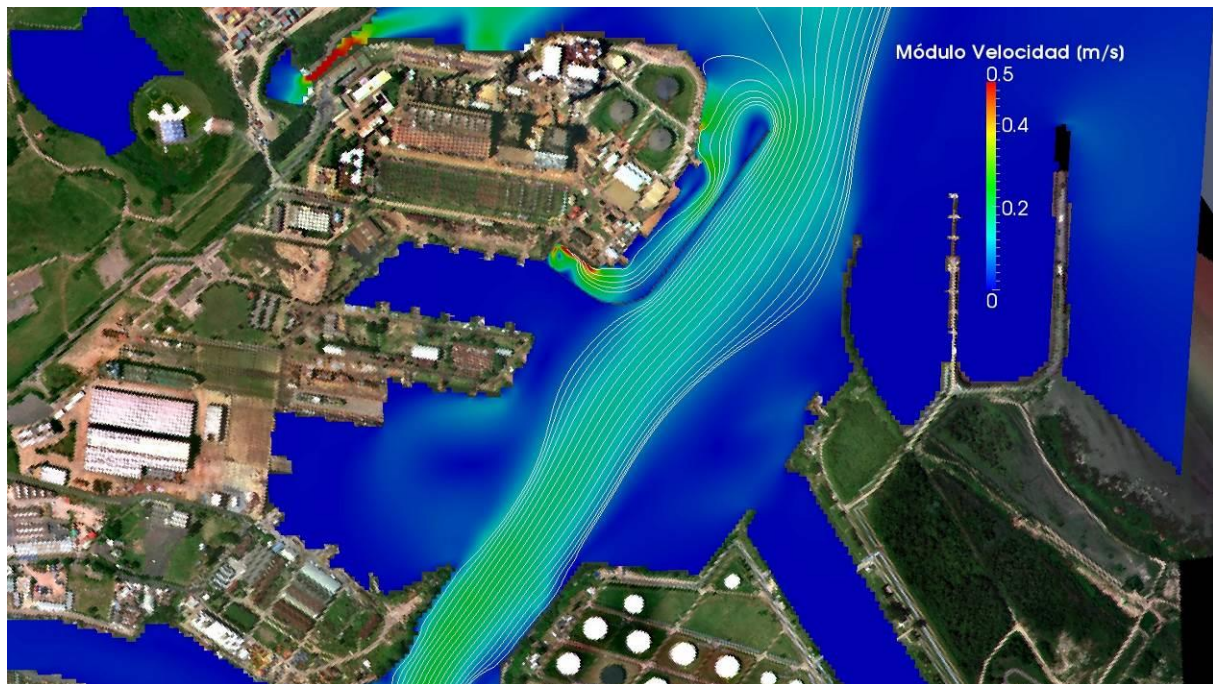
**Figura 6.10.** Niveles (m MOP)



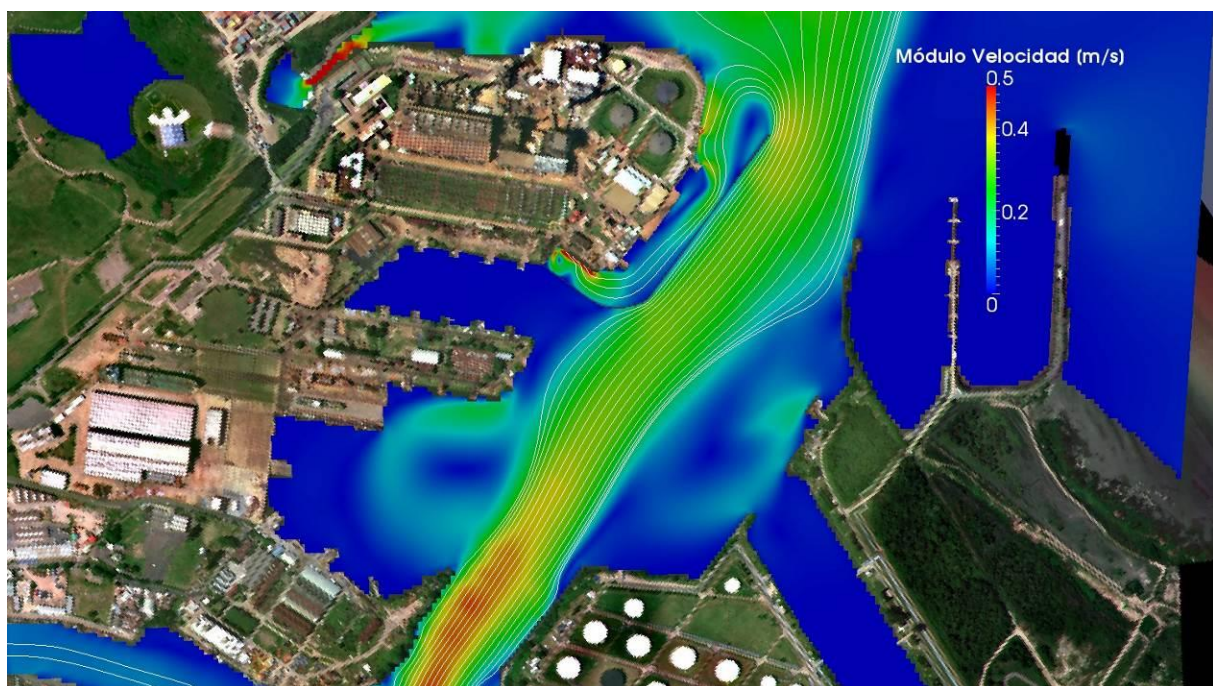
a) Escenario A



b) Escenario B



c) Escenario C



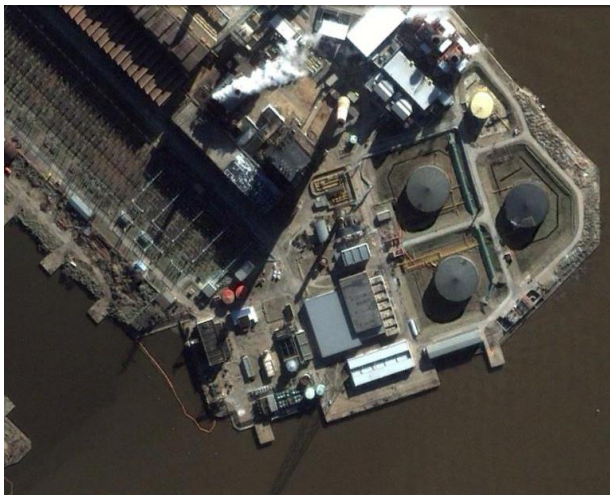
d) Escenario D

**Figura 6.11.** Módulos de velocidad y tubos de corriente. Variante 4 de la obra de tablestacado.

## 6.2.2 Barrera de mayor envergadura

La barrera actual que controla el ingreso de RSF a las bombas de succión de las tomas de las Unidades 1 a 7 no funciona en condiciones óptimas, pues está sometida a grandes deformaciones que dejan la barrera muy cerca de la toma y a repetidos desprendimientos de sus lugares de anclaje, tal como se muestra en la Figura 6.12, que recopila imágenes de la misma en diferentes fechas correspondientes al período 2002 - 2014<sup>5</sup>. A fin de mejorar esta situación, se plantea implementar una nueva barrera, tal como se muestra en la Figura 6.13.

Se establecieron las velocidades en distintos puntos de la nueva barrera propuesta, para los escenarios B, C y D, que son los más importantes desde el punto de vista de las solicitaciones que pueda a llegar a soportar la estructura de la mencionada barrera (Tabla 6.2). Se observa que, para los escenarios seleccionados, las velocidades en la barrera no sobrepasan los 0.27 m/s.



9 de Junio de 2002



5 de Noviembre de 2004



<sup>5</sup> <http://earth.google.com>

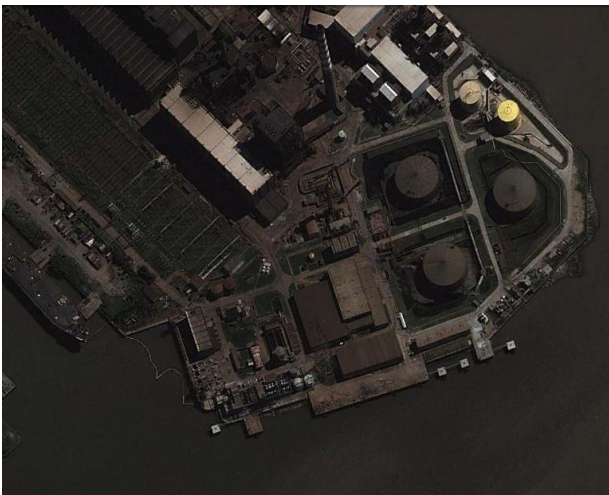
*24 de Diciembre de 2005*



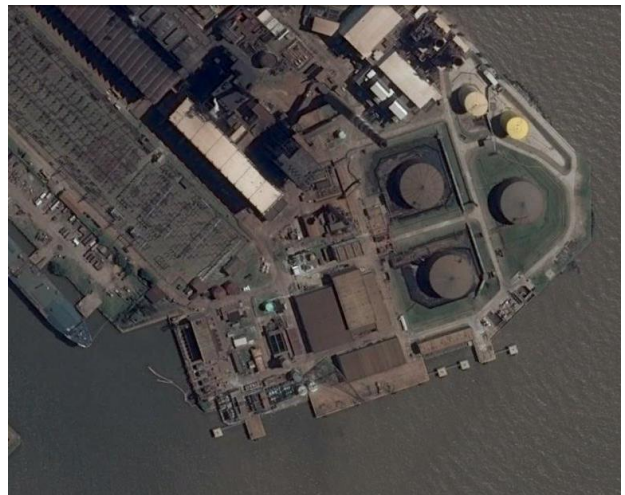
*20 de Agosto de 2008*



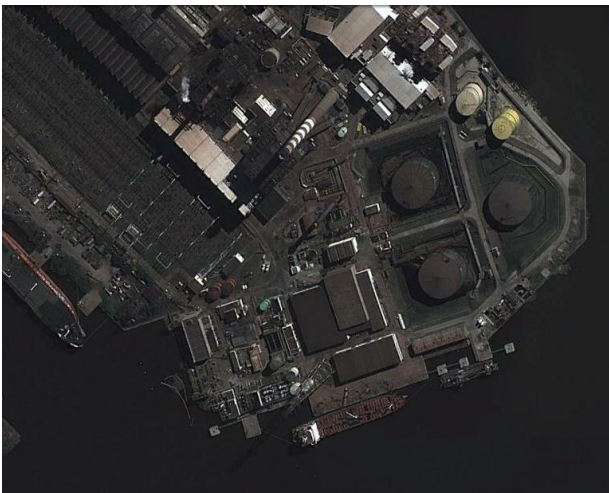
*9 de Junio de 2010*



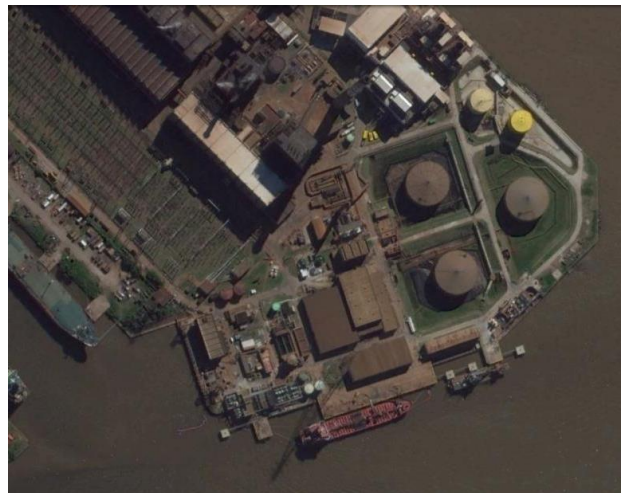
*16 de Septiembre de 2010*



*22 de Febrero de 2012*



*4 de Febrero de 2013*



6 de Abril de 2013

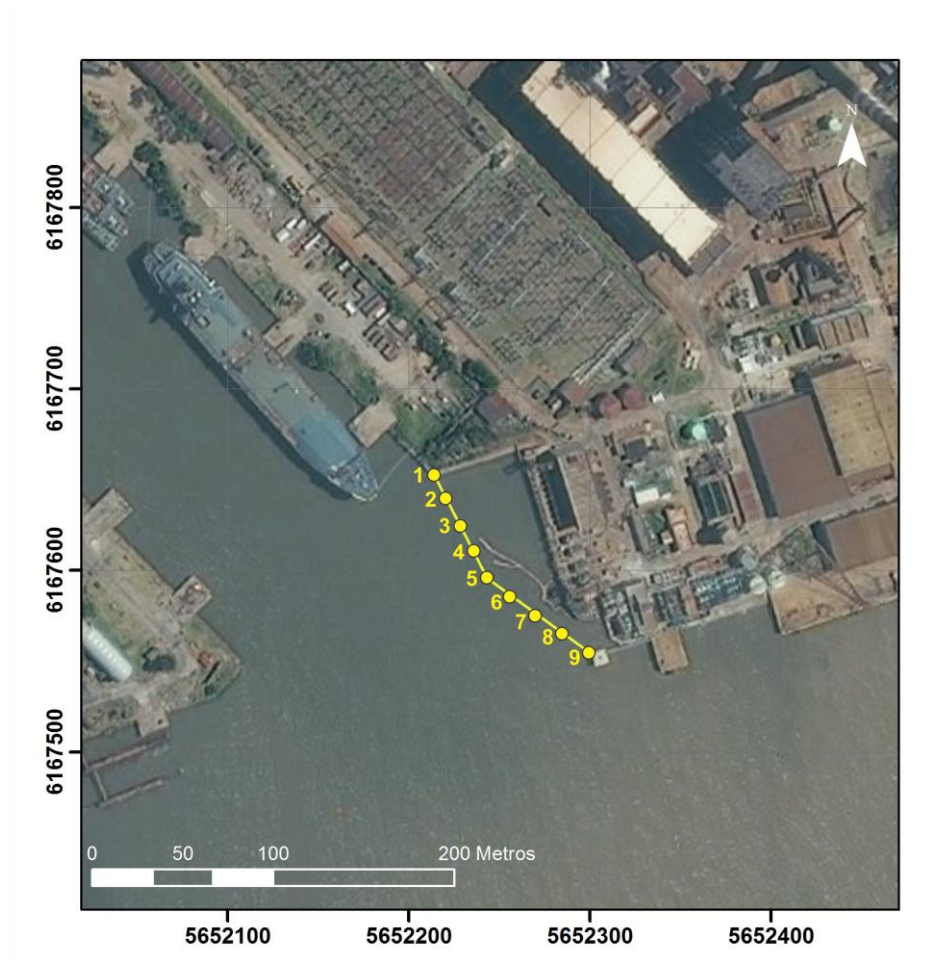
12 de Abril de 2013



23 de Junio de 2014

11 de Agosto de 2014

**Figura 6.12.** Funcionamiento de la actual barrera.



**Figura 6.13.** Disposición de la nueva barrera.

**Tabla 6.2.** Velocidades en distintos puntos de la nueva barrera propuesta.

Punto de la barrera	Coordenadas		Escenario B		Escenario C		Escenario D	
	x GKF5 [m]	y GKF5 [m]	u [m/s]	v [m/s]	u [m/s]	v [m/s]	u [m/s]	v [m/s]
1	5652266	6167602	-0.00	-0.00	-0.03	-0.03	-0.06	-0.06
2	5652272	6167589	0.05	-0.01	0.04	-0.12	-0.02	-0.18
3	5652277	6167576	0.08	0.03	0.10	-0.01	0.04	-0.07
4	5652283	6167563	0.07	0.10	0.11	0.11	0.12	0.13
5	5652288	6167550	0.05	0.13	0.07	0.16	0.10	0.20
6	5652303	6167538	0.05	-0.01	0.04	0.18	0.06	0.24
7	5652318	6167527	0.08	0.03	-0.05	0.21	-0.03	0.27
8	5652334	6167516	0.07	0.10	-0.11	0.14	-0.07	0.19
9	5652349	6167505	0.05	0.13	-0.03	0.07	0.05	0.11

## 7 Transporte de residuos sólidos flotantes

### 7.1 Sistema de limpieza de espejo de agua

El servicio que comprende las tareas de limpieza y mantenimiento del espejo de agua del curso del Río Matanza-Riachuelo en el tramo comprendido desde el Puente de Camino de Cintura (Ruta Provincial 4, RP 4) hasta la desembocadura se encuentra concesionado por ACUMAR.

Este segmento del río se divide en tres tramos con una división de acuerdo a criterios de operatividad:

*Tramo 1:* desde el Puente de Camino de Cintura (RP 4) hasta el Puente Alsina.

*Tramo 2:* desde el Puente Alsina hasta la desembocadura del Río Matanza-Riachuelo

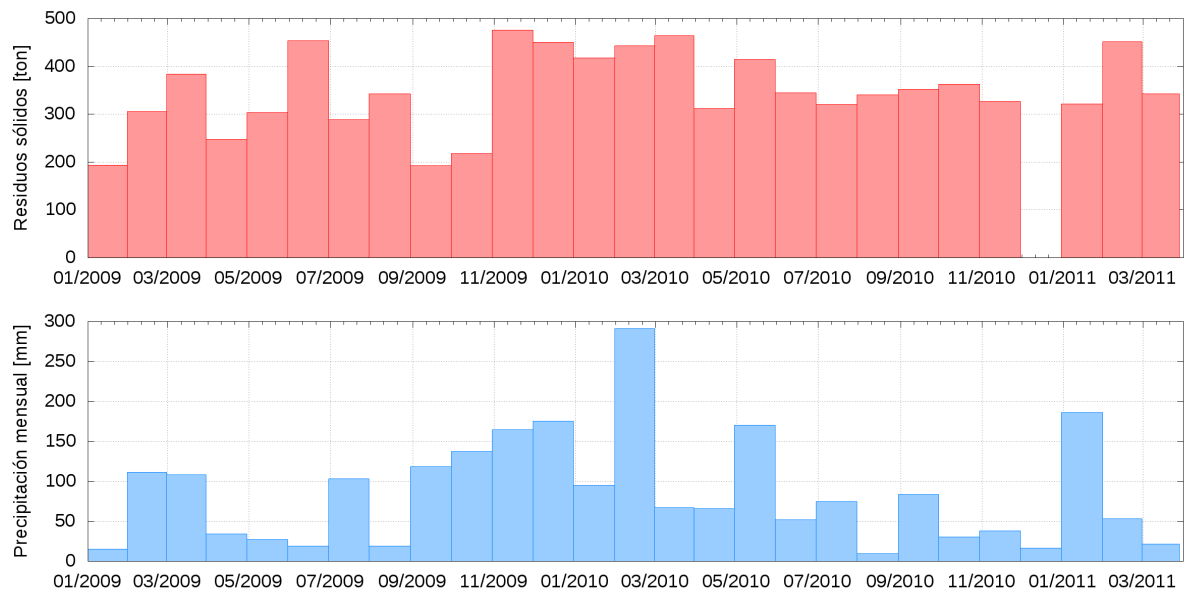
*Tramo 3:* desde el Puente Alsina hasta la desembocadura.

El sistema de recolección de residuos sólidos flotantes se basa en la contención de los mismos en barreras flotantes y el barrido realizado por embarcaciones de pequeño porte que realizan la función de *barredor flotante*. La prestación de este servicio se realiza de lunes a viernes en jornadas de ocho horas y los sábados medio día. A efectos de la recolección de los residuos confinados por las barreras flotantes se encuentran operativas dos Plataformas de Operación ubicadas en Puente Alsina en la desembocadura del Arroyo Erezcano (Estación Erezcano, margen izquierda) y en Puente Bosch (Estación Puente Bosch, margen derecha).

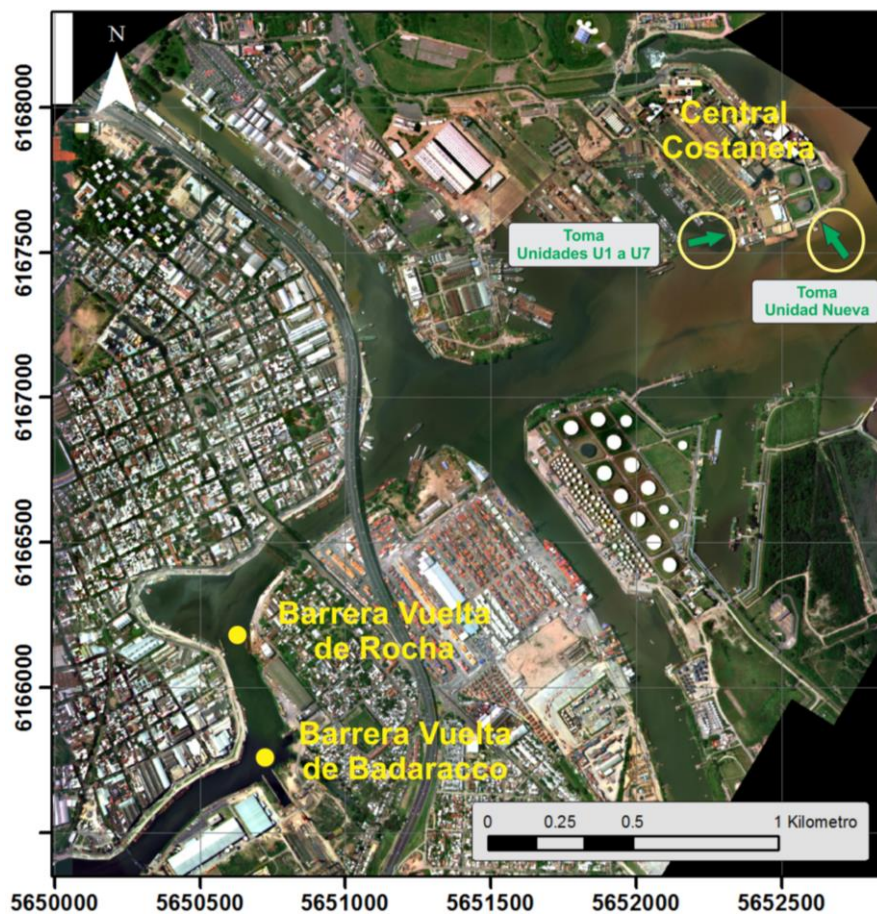
Las barreras flotantes son de tela poliéster recubierta en PVC con flotadores de poliestireno expandido de alta densidad y un faldón de caída o *pollera* de aproximadamente 0,60 m, alcanzado una altura total de 1 m.

Aproximadamente, se extraen unas 350 toneladas mensuales de residuos sólidos flotantes del río Matanza-Riachuelo (ACUMAR, 2011). A priori, no se observa una fuerte correlación entre la cantidad de precipitación sobre la Cuenca Matanza-Riachuelo caracterizada a partir de los datos de la estación Ezeiza del Servicio Meteorológico Nacional y la cantidad de residuos sólidos extraídos del espejo de agua (Figura 7.1).

Las barreras operativas que se encuentran en el Tramo 3 (tramo más próximo a la Central Costanera) se ubican aguas abajo del Puente Bosch (Estación Puente Bosch, aproximadamente 120 m de barrera), a 500 m aguas abajo del Puente Barraca Peña (Vuelta de Badaracco, 30 m de barrera) y en Vuelta de Rocha (30 m de barrera) (Figura 7.2).



**Figura 7.1.** Precipitación mensual en la Cuenca Matanza-Riachuelo y cantidad de residuos sólidos flotantes extraídos del espejo de agua.



**Figura 7.2.** Barreras operativas del Tramo 3 del servicio concesionado de limpieza de espejo de agua y ubicación de las tomas de la central térmica.

La rotura de estas barreras durante eventos de tormenta hacen que se transporte un pulso de residuos sólidos por el Riachuelo con capacidad de alcanzar las tomas de la Central Costanera. En el Anexo 1 se presenta la certificación de la rotura de la barrera de Vuelta de Badaracco durante la tormenta del 2 de abril de 2013. Durante esa jornada el sistema de toma de agua para refrigeración de la central dejó de estar operativo por la acumulación de residuos sólidos en sus filtros.

## 7.2 Modelos de transporte de contaminantes

El análisis del transporte y destino de los residuos sólidos flotantes en un curso de agua puede ser abordado a partir la aplicación de un modelo de transporte de contaminantes. En este caso, se interpreta a los residuos sólidos flotantes en el río Matanza-Riachuelo como una sustancia contaminante con la capacidad de ser transportada en el cuerpo de agua por la acción de los procesos de advección y dispersión-difusión.

La modelación del transporte de contaminantes puede ser efectuada en base a una descripción euleriana, donde se representa a las concentraciones como campo continuo discretizado espacial y temporalmente (Menéndez et al., 2013), o lagrangiana, en la que las concentraciones están asociadas a las partículas fluidas emitidas continuamente por las fuentes de contaminación, que luego se discretizan como pulsos (Lecertúa et al., 2014).

La resolución numérica del problema de transporte planteado con el enfoque euleriano introduce una difusión numérica cuyos efectos son comparables o mayores a los de la difusión física. Además este enfoque podría ser demasiado costoso para algunas aplicaciones debido a la necesidad de que el paso temporal cumpla la representación adecuada del transporte en la discretización espacial elegida.

Utilizando el enfoque lagrangiano se calculan, para pequeños intervalos de tiempo consecutivos, las trayectorias de una cantidad determinada de partículas. El movimiento de cada partícula está asociado a las condiciones hidrodinámicas. Este enfoque no impone restricciones adicionales sobre el paso espacial del modelo de transporte respecto de las del modelo hidrodinámico. El paso de tiempo entre las inyecciones de partículas debe ser controlado a fin de generar una nube suficientemente densa de partículas, permitiendo mantener bajo control el error de discretización a costa de un mayor esfuerzo de cálculo.

En general, los modelos de transporte lagrangianos generalmente se utilizan para simular procesos localizados con grandes gradientes. Por lo tanto, para la representación del pulso de residuos sólidos flotantes generado en el río Matanza-Riachuelo debido a la rotura instantánea de una barrera contenedora se propuso un modelo de transporte con enfoque lagrangiano.

## 7.3 Estrategia de simulación

La simulación de la rotura instantánea de una barrera flotante conteniendo residuos sólidos se realizó aplicando el Módulo Lagrangiano del Sistema MOHID. Las partículas representativas de los residuos flotantes son transportadas en el cuerpo de agua mediante la combinación de la corriente media y las fluctuaciones turbulentas. El modelo hidrodinámico provee las velocidades de corriente medias y el movimiento debido a las fluctuaciones turbulentas se parametriza en función de variables hidrodinámicas mediante la formulación de Sullivan-Allen (Allen, 1982). Con esta metodología, las trayectorias de las partículas debidas a los procesos de difusión-dispersión se representan a través de caminos aleatorios (*random walk*).

La rotura instantánea de la barrera se representa mediante el lanzamiento de un pulso instantáneo de partículas desde un área representativa de la barrera colmada en un subdominio del modelo denominado caja (*box*). Una caja (*box*) 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 del contaminante.

## 7.4 Implementación

Una red de cajas de control (*boxes*) fue definida para evaluar la evolución del tren de residuos flotantes desprendido de la rotura instantánea de una barrera. Se plantearon dos cajas de descarga de residuos sólidos: una que simula la rotura de la barrera de la Vuelta de Badaracco y otra la de Vuelta de Rocha. Además, se implementaron dos cajas de recepción de residuos flotantes: una delante de la obra de toma de las Unidades 1 a 7 (Toma Vieja) y otra frente a la toma de Ciclo Combinado (Toma Nueva). Las dimensiones de las cajas de descarga son equivalentes a las de la barrera colmada de residuos y las de recepción se vinculan con el ancho de cada una de las obras de toma (Tabla 7.1).

**Tabla 7.1.** Cajas de descarga y de recepción para control del transporte de residuos sólidos flotantes.

<b>Caja</b>	<b>Denominación</b>	<b>Área [m<sup>2</sup>]</b>
Barrera Vuelta de Badaracco	VdB	500
Barrera Vuelta de Rocha	VdR	800
Toma Unidades 1 a 7 (Toma Vieja)	Toma U1-U7	2100
Toma Ciclo Combinado (Toma Nueva)	Toma CC	450

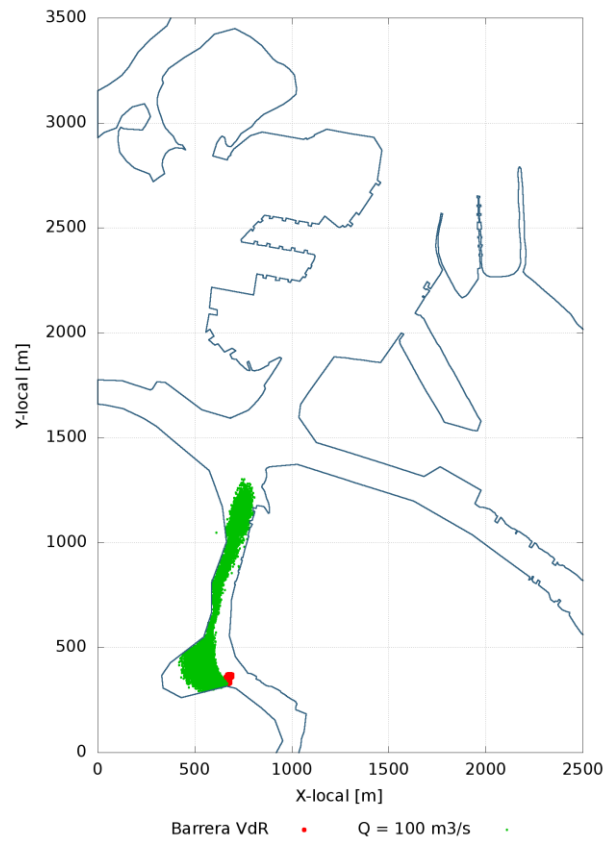
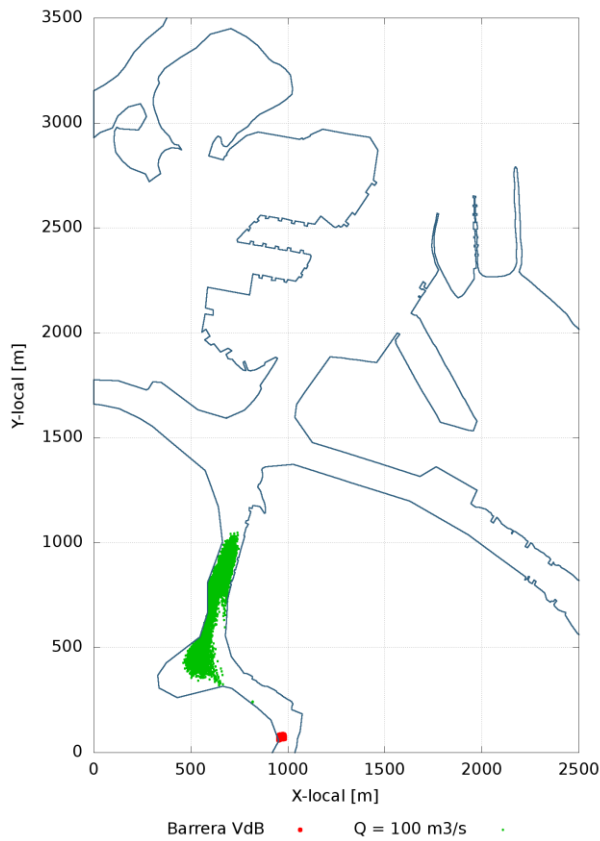
Desde las cajas de descarga se lanzan instantáneamente alrededor de 10.000 partículas desde la barrera de Vuelta de Badaracco y unas 13.000 desde la barrera de Vuelta de Rocha. El objetivo de la simulación es detectar el porcentaje de residuos sólidos cuyos destinos son cada una de las tomas, según origen y condición hidrodinámica.

Las condiciones hidrodinámicas sobre las que montó el modelo de transporte de residuos sólidos flotantes son las descritas en la Tabla 6.1: nivel medio en el Río de la Plata (no se tiene en cuenta la dinámica del estuario) y distintos caudales descargados desde el Riachuelo.

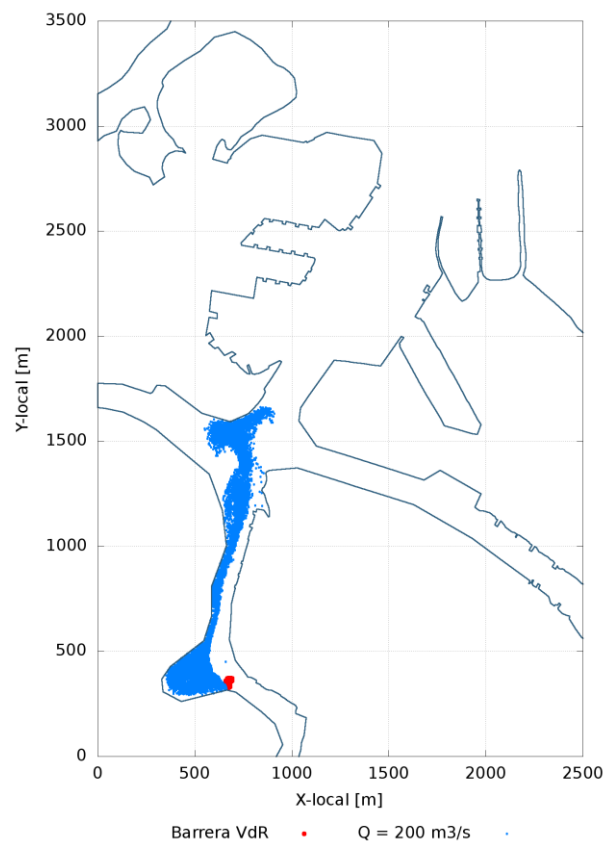
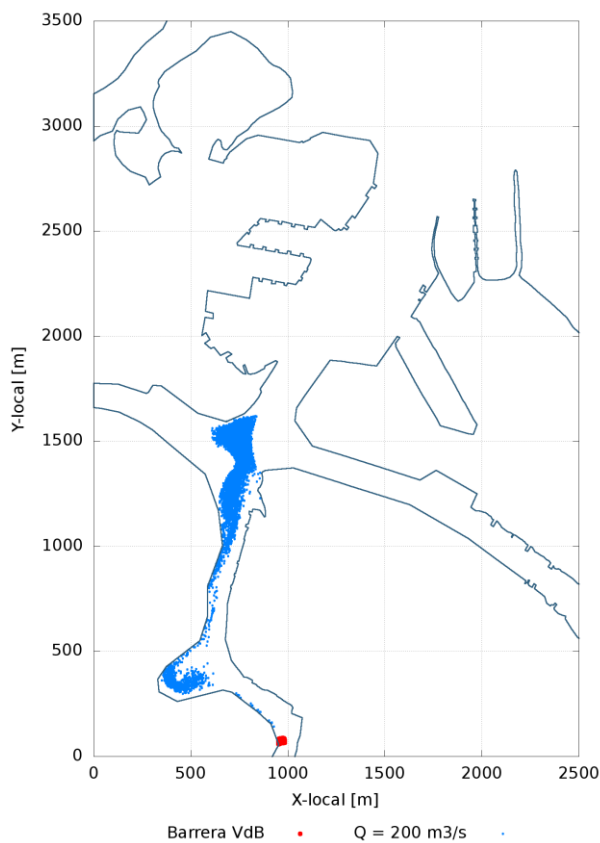
Para la caracterización del fenómeno de difusión-dispersión mediante la aproximación de Sullivan-Allen (camino aleatorio, *random walk*), debido a que no se cuenta con mediciones de plumas de contaminantes en esta zona, para la elección de los parámetros de modelación se adoptaron los criterios explicitados en García et al. (2012).

## 7.5 Simulación de la situación base

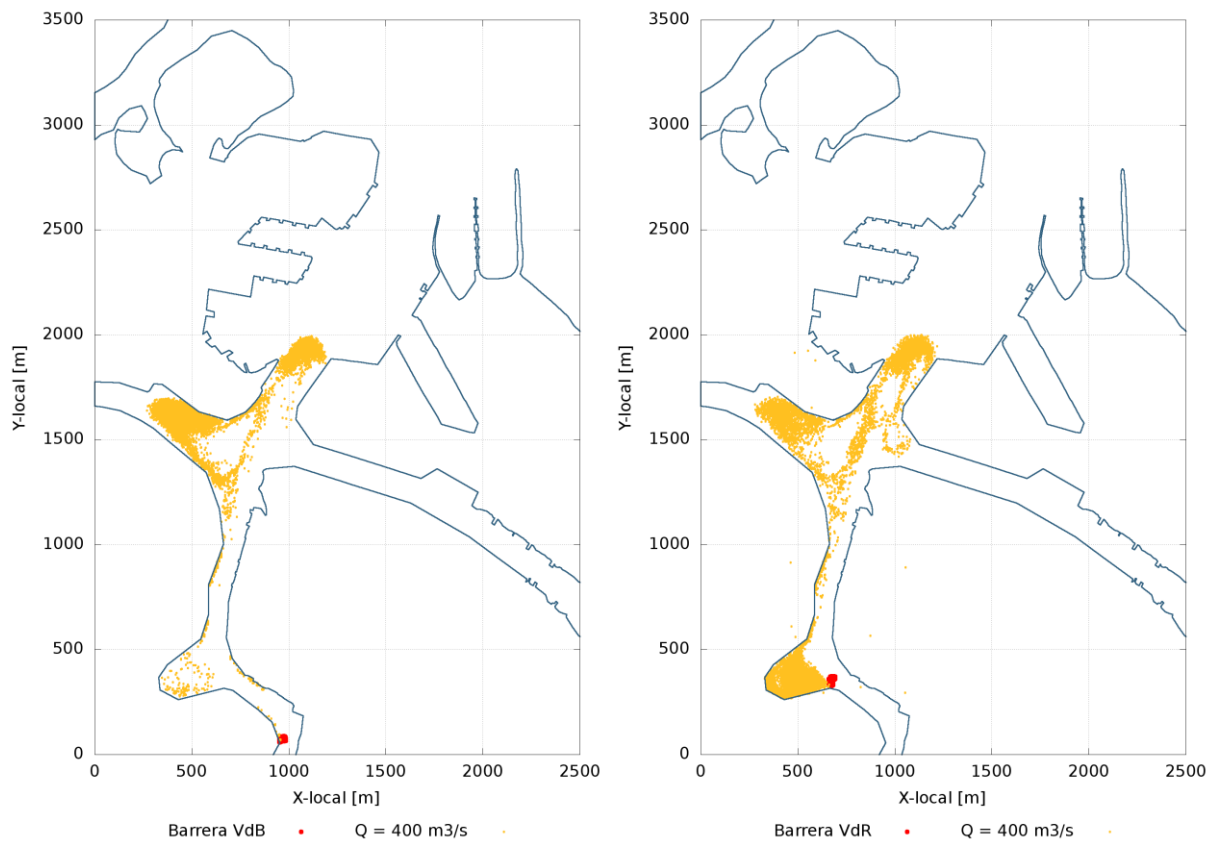
Se entiende la situación base de la simulación de rotura de barreras flotantes a aquella en la que no se implementa ninguna de las alternativas de mitigación del problema anteriormente mencionadas. En la Figura 7.3 se presenta a modo ilustrativo como son las trayectorias de las partículas representativas de los residuos sólidos flotantes según origen y condición hidrodinámica.



a) Escenario B – 100 m<sup>3</sup>/s.



b) Escenario C – 200 m<sup>3</sup>/s.



c) Escenario D – 400 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 7.3.** Evolución de los residuos sólidos flotantes una hora después de la rotura instantánea de la barrera según escenarios hidrodinámicos.

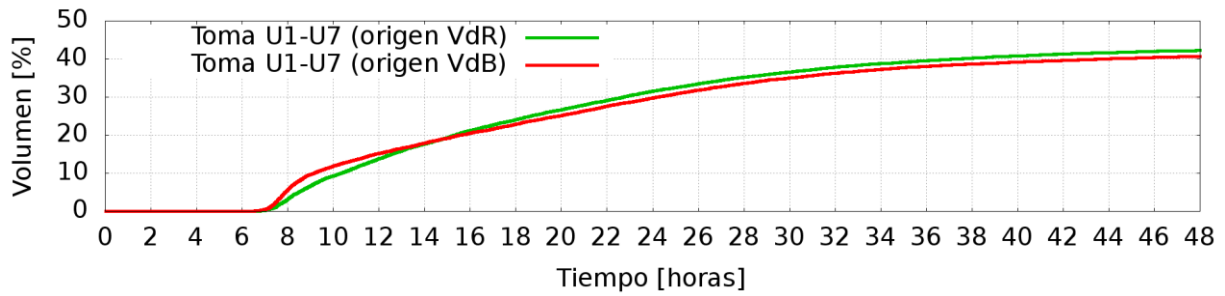
A pesar de que la cantidad de partículas lanzadas desde cada fuente es diferente, se realizan en primera aproximación las siguientes observaciones: *i)* las trayectorias de los trazadores cuyo origen es la barrera de la Vuelta de Badaracco se concentran más sobre la margen izquierda que los de la Vuelta de Rocha; *ii)* al meandro de la Vuelta de Rocha ingresa una porción mayor de partículas de la barrera más cercana (Vuelta de Rocha); *iii)* muchas de las partículas lanzadas desde las barreras encuentran destino en la Dársena Sur.

La evolución del volumen de arribo de residuos sólidos flotantes a las dos tomas (U1-U7, Vieja, y CC, Nueva) para las tres condiciones de descarga del Matanza-Riachuelo (100 m<sup>3</sup>/s, 200 m<sup>3</sup>/s y 400 m<sup>3</sup>/s) se muestra en las Figuras 7.4 y 7.5.

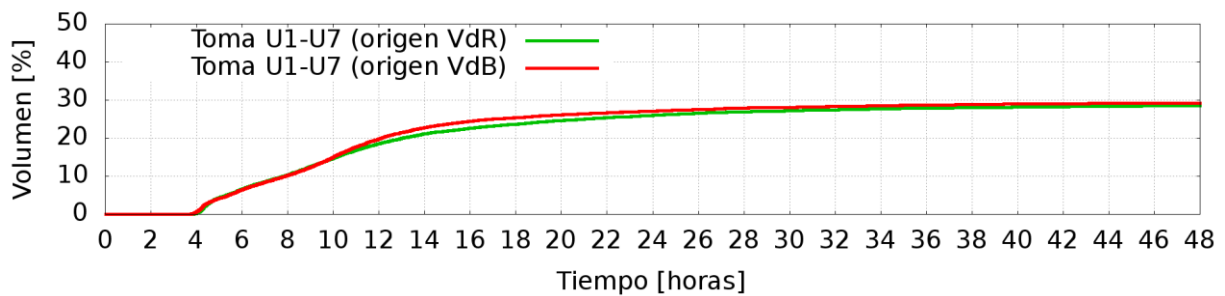
Para el caso de la Toma U1-U7 se observan iguales comportamientos respecto de la capacidad de recepción según para los escenarios hidrodinámicos B (100 m<sup>3</sup>/s) y C (200 m<sup>3</sup>/s), mientras que para el escenario D (400 m<sup>3</sup>/s) la menor cantidad a recibir por la toma de residuos provenientes de la Vuelta de Rocha se debería a mayor porción con destino Dársena Sur y meandro de Vuelta de Rocha.

En cuanto a la Toma CC, los volúmenes a recibir son varias veces menores que los de la Toma U1-U7. En este caso no se distinguen diferencias según origen.

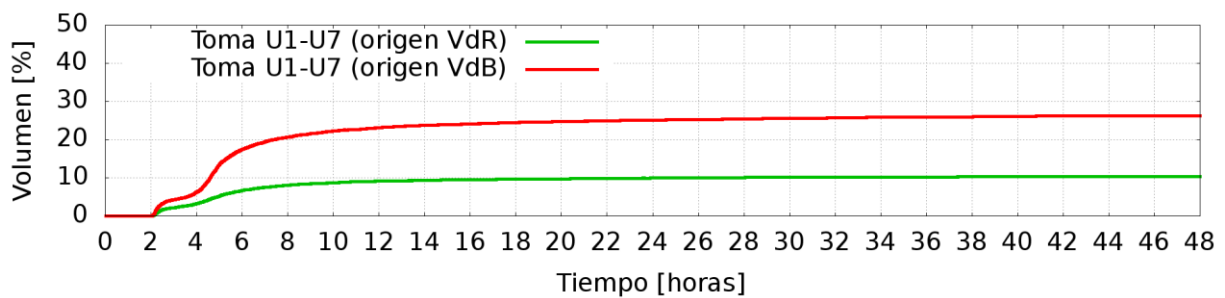
Como comportamiento general se observa que a menor caudal las tomas reciben una porción mayor del volumen de residuos sólidos puesto en movimiento por la rotura de las barreras flotantes.



a) Escenario B – 100 m<sup>3</sup>/s.

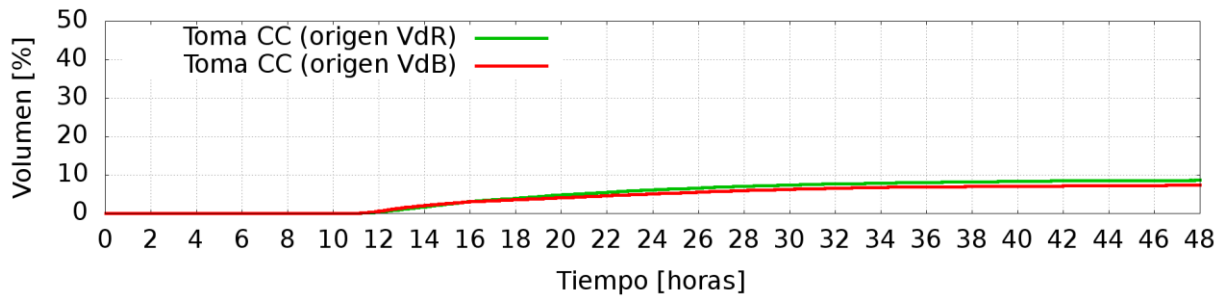


b) Escenario C – 200 m<sup>3</sup>/s.

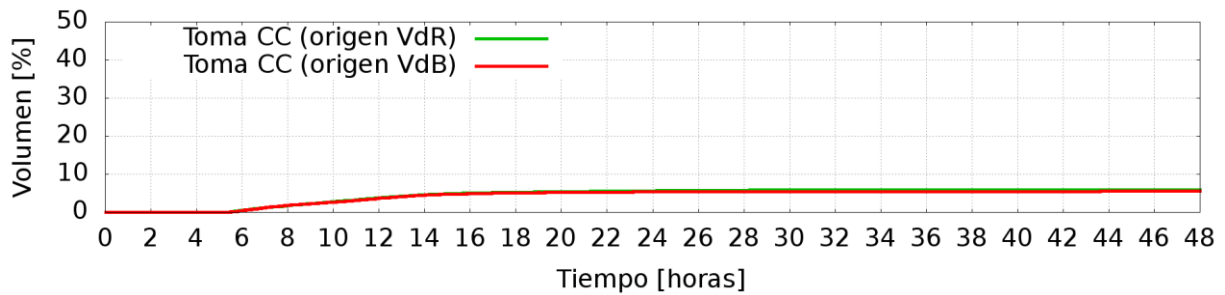


c) Escenario D – 400 m<sup>3</sup>/s.

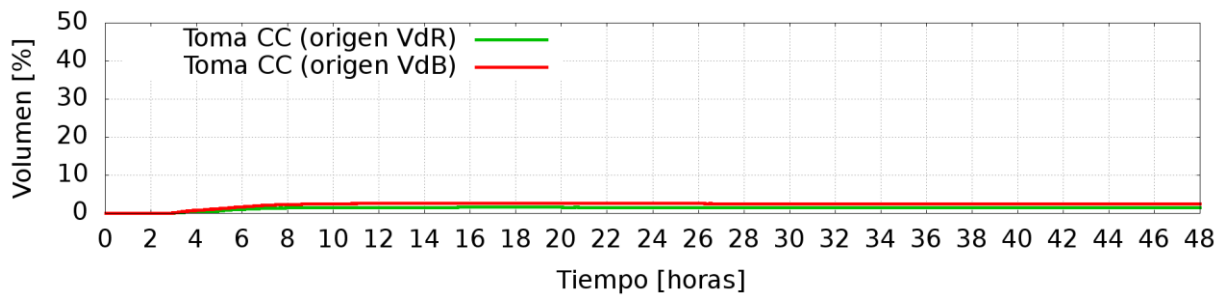
**Figura 7.4.** Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje recibidos en la Toma U1-U7 desde: VdR: barrera de Vuelta de Rocha; y VdB: barrera de Vuelta de Badaracco).



a) Escenario B – 100 m<sup>3</sup>/s.



b) Escenario C – 200 m<sup>3</sup>/s.



c) Escenario D – 400 m<sup>3</sup>/s.

**Figura 7.5.** Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje recibidos en la Toma CC desde: VdR: barrera de Vuelta de Rocha; y VdB: barrera de Vuelta de Badaracco).

La Tabla 7.2 presenta los tiempos de arribo de la primera partícula lanzada desde la rotura instantánea de las dos barreras analizadas, obtenidas para tres escenarios hidrodinámicos y para cada toma analizada.

Para la Toma U1-U7, los tiempos disponibles para accionar sobre el sistema de refrigeración antes del comienzo de arribo de residuos sólidos (valores conservadores de acuerdo a que el análisis está hecho solo para los caudales hidrológicos), son de entre 2 y 7 horas según la condición de descarga existente en el Riachuelo. Para el caso de la Toma CC este rango se estira de 2 a 11 horas, también dependiendo de la condición de descarga del Riachuelo.

**Tabla 7.2.** Resumen de tiempos de arribo según origen.

Destino	Escenario	Tiempo de arribo [hs]	
		Origen Vuelta de Badaracco	Origen Vuelta de Rocha
Toma U1-U7	B (100 m <sup>3</sup> /s)	6.40	6.37
Toma U1-U7	C (200 m <sup>3</sup> /s)	3.67	3.75
Toma U1-U7	D (400 m <sup>3</sup> /s)	2.03	2.02
Toma CC	B (100 m <sup>3</sup> /s)	10.40	10.75
Toma CC	C (200 m <sup>3</sup> /s)	5.32	5.22
Toma CC	D (400 m <sup>3</sup> /s)	2.78	2.63

La Tabla 7.3 muestra la porción de volumen de la barrera colapsada capaz de ser alcanzada según origen para cada condición hidrodinámica.

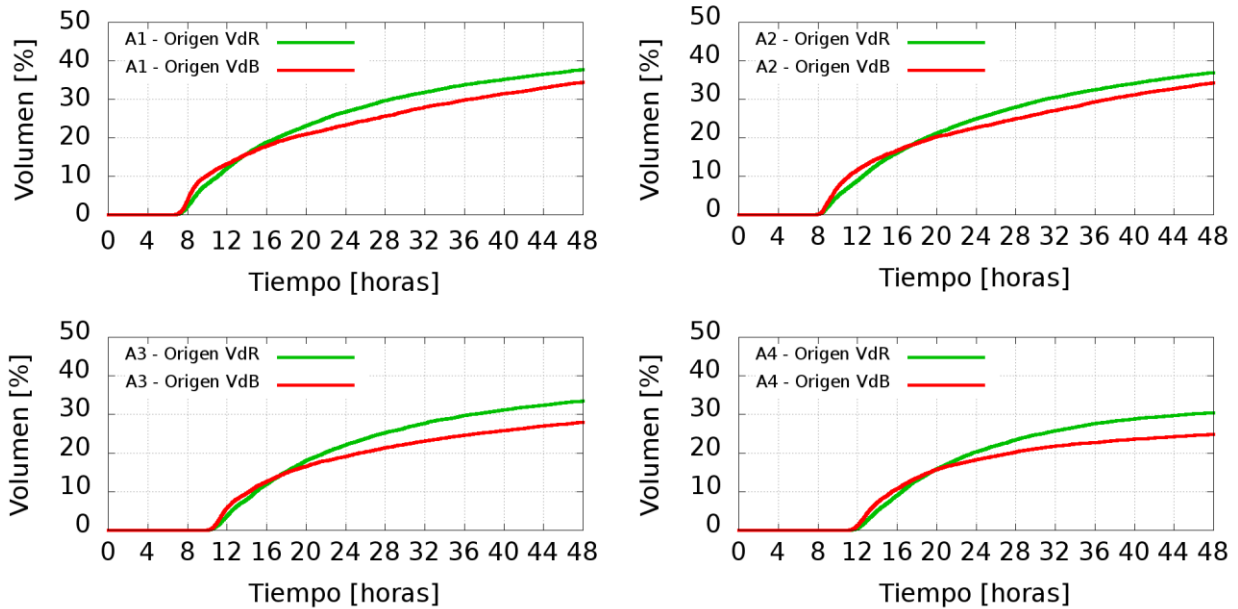
**Tabla 7.3.** Porcentaje del volumen lanzado desde cada rotura de barrera que arribaría a cada una de las tomas según condición hidrológica .

Destino	Escenario	Volumen [%]	
		Origen Vuelta de Badaracco	Origen Vuelta de Rocha
Toma U1-U7	B (100 m <sup>3</sup> /s)	40,7	42,2
Toma U1-U7	C (200 m <sup>3</sup> /s)	29,2	28,6
Toma U1-U7	D (400 m <sup>3</sup> /s)	24,7	10,3
Toma CC	B (100 m <sup>3</sup> /s)	7,3	8,6
Toma CC	C (200 m <sup>3</sup> /s)	5,5	5,9
Toma CC	D (400 m <sup>3</sup> /s)	2,4	1,4

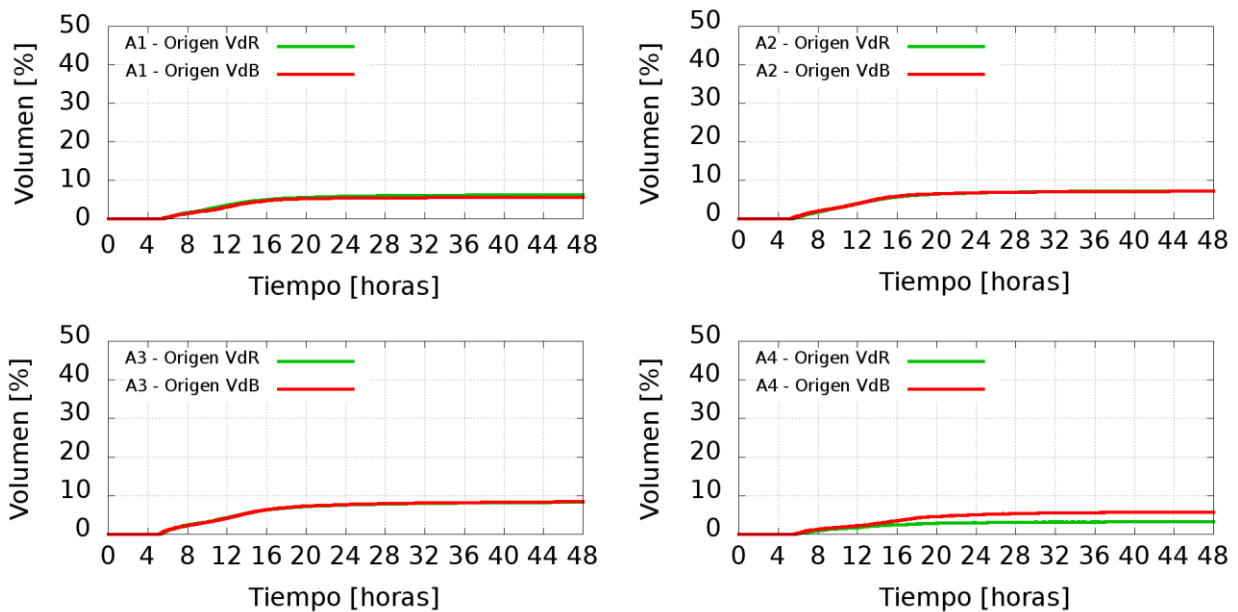
## 7.6 Simulación de la situación con obra de tablestacado

Debido a que la rotura de las barreras se da generalmente ante la acción de caudales significativos del Riachuelo, el análisis de la situación con obra de tablestacado y la rotura instantánea de la barrera contenedora, se realizó solo para los escenarios hidrodinámicos B (100 m<sup>3</sup>/s), C (200 m<sup>3</sup>/s) y D (400 m<sup>3</sup>/s). Para cada hidrodinámica del Riachuelo se estudió la evolución del arribo de los residuos flotantes en términos del porcentaje del volumen contenido en la barrera rota.

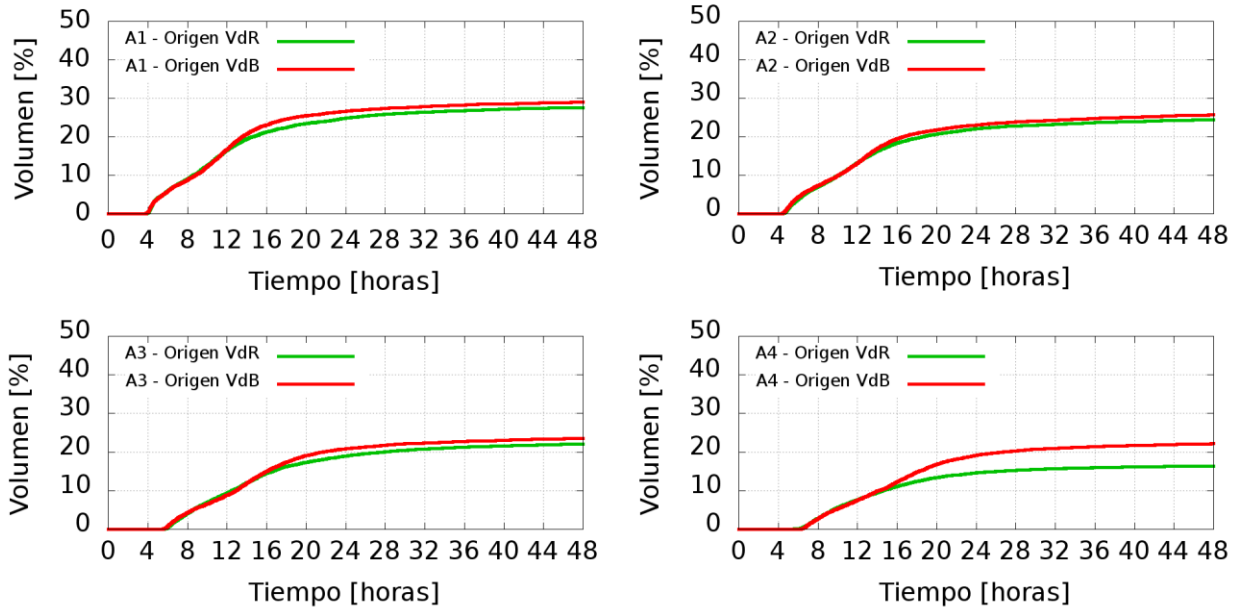
En las Figuras 7.6 y 7.7 se presentan las evoluciones temporales del arribo de residuos sólidos flotantes a las tomas para el Escenario B, en las Figuras 7.8 y 7.9 para el Escenario C y en las Figuras 7.10 y 7.11 para el Escenario D.



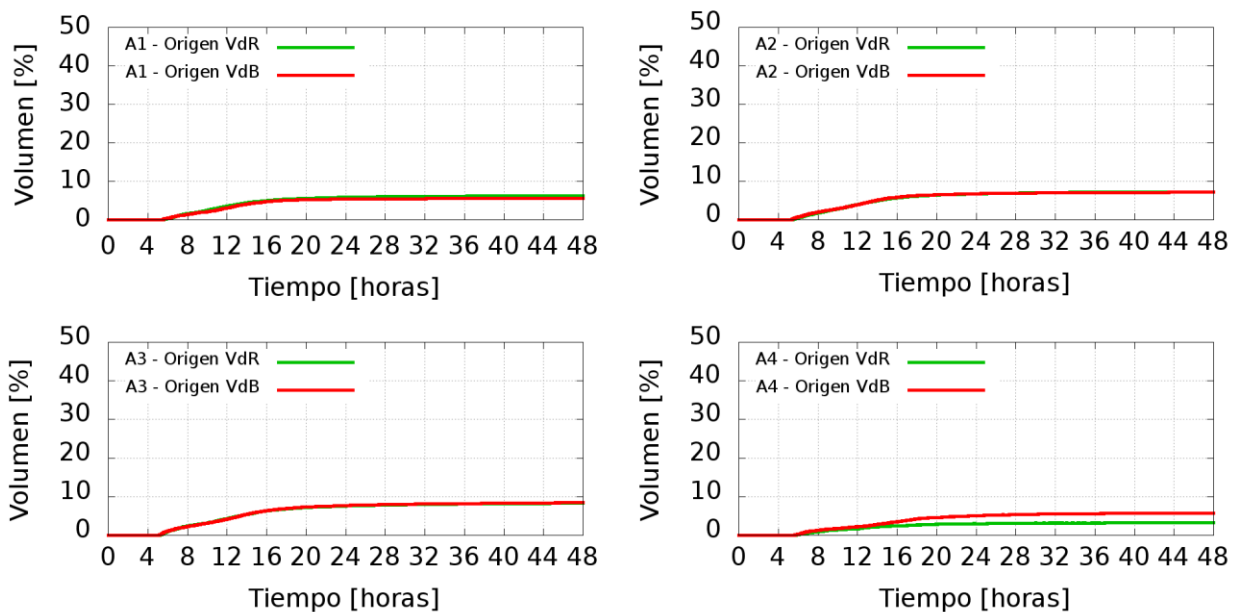
**Figura 7.6.** Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje para las distintas alternativas recibidos en la Toma U1-U7 desde VdR y VdB. Escenario B.



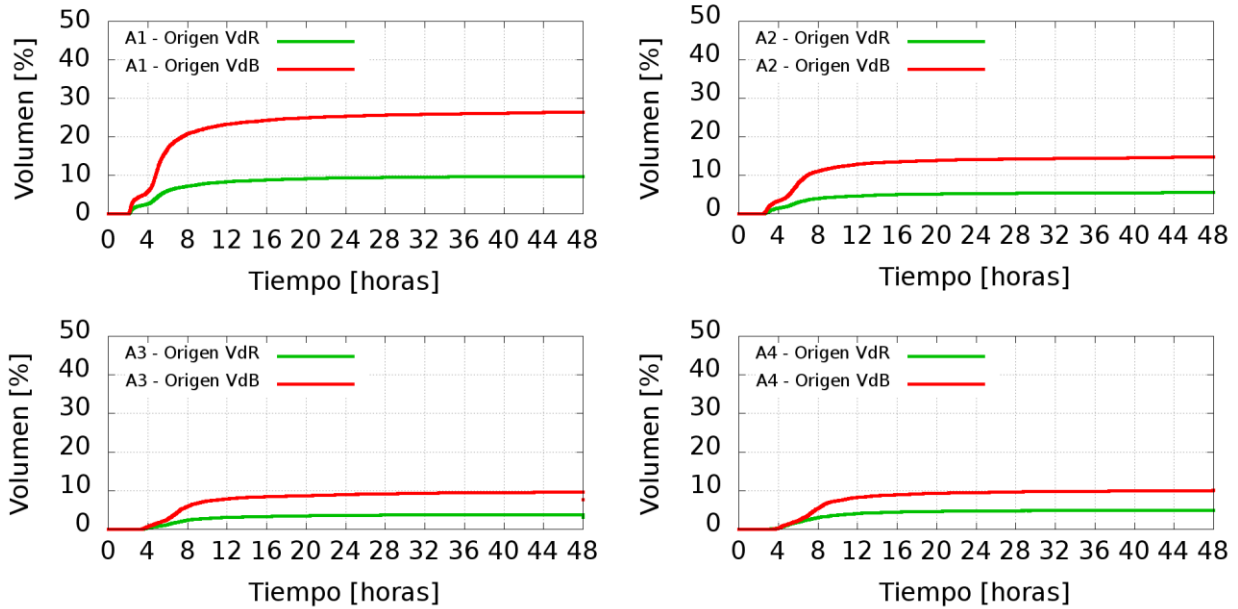
**Figura 7.7.** Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje para las distintas alternativas recibidos en la Toma CC desde VdR y VdB. Escenario B.



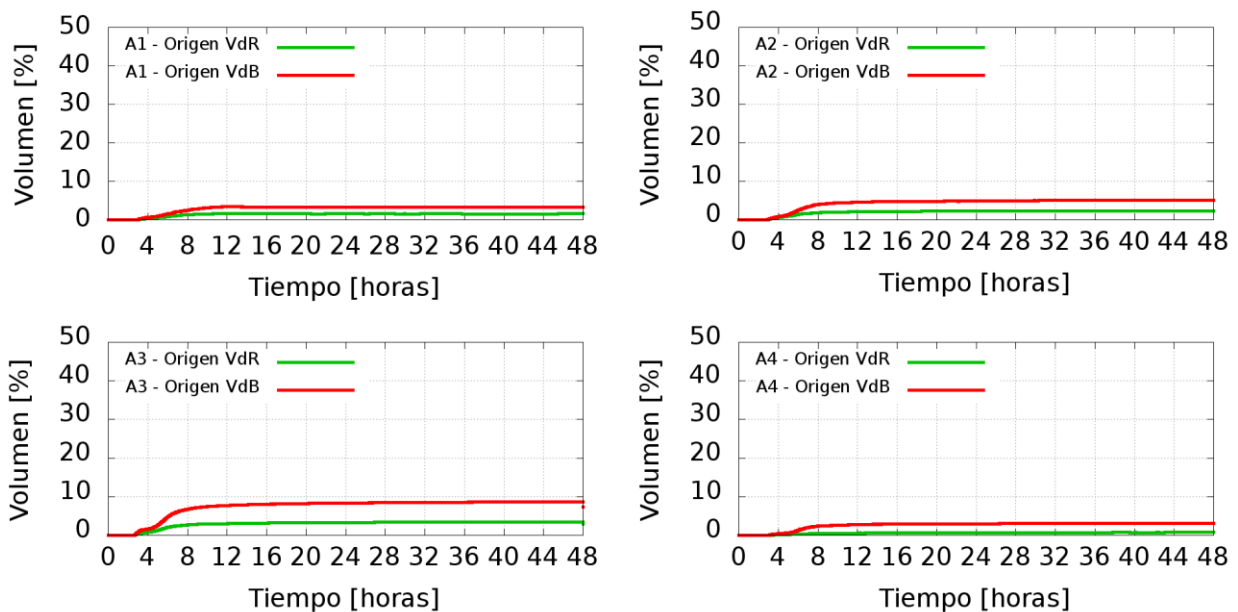
**Figura 7.8.** Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje para las distintas alternativas recibidos en la Toma U1-U7 desde VdR y VdB. Escenario C.



**Figura 7.9.** Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje para las distintas alternativas recibidos en la Toma CC desde VdR y VdB. Escenario C.



**Figura 7.10.** Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje para las distintas alternativas recibidos en la Toma U1-U7 desde VdR y VdB. Escenario D.



**Figura 7.11.** Volúmenes de residuos sólidos flotantes en porcentaje para las distintas alternativas recibidos en la Toma CC desde VdR y VdB. Escenario D.

Un resumen acerca del comportamiento de las variantes de tablestacado ante la llegada de un pulso de residuos sólidos proveniente de la rotura de una barrera, se observa en las siguientes figuras, en función de la longitud de tablestacado para cada toma respectivamente. El análisis se realiza en términos relativos a la situación sin obra.

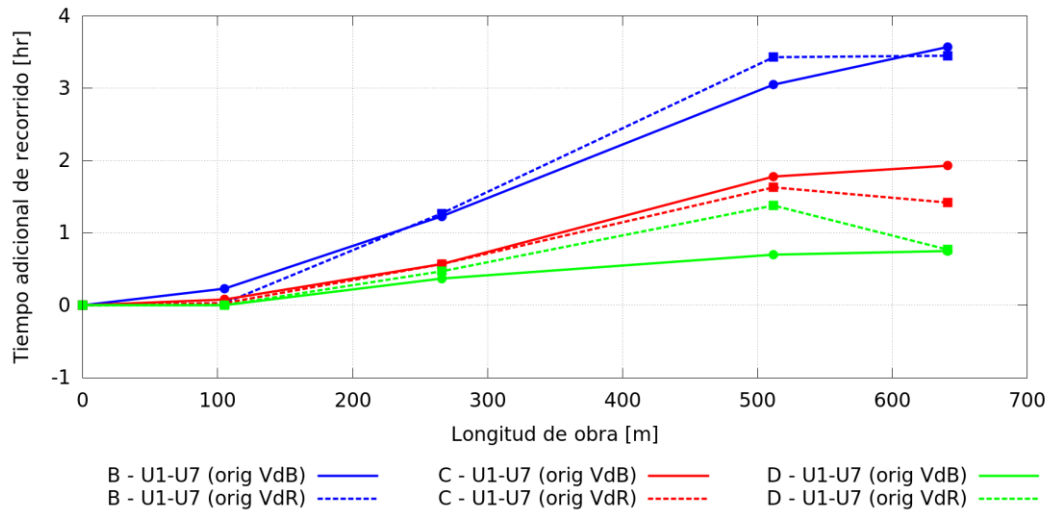


Figura 7.12. Tiempo de arribo relativo a la situación sin obra por origen para la Toma U1-U7.

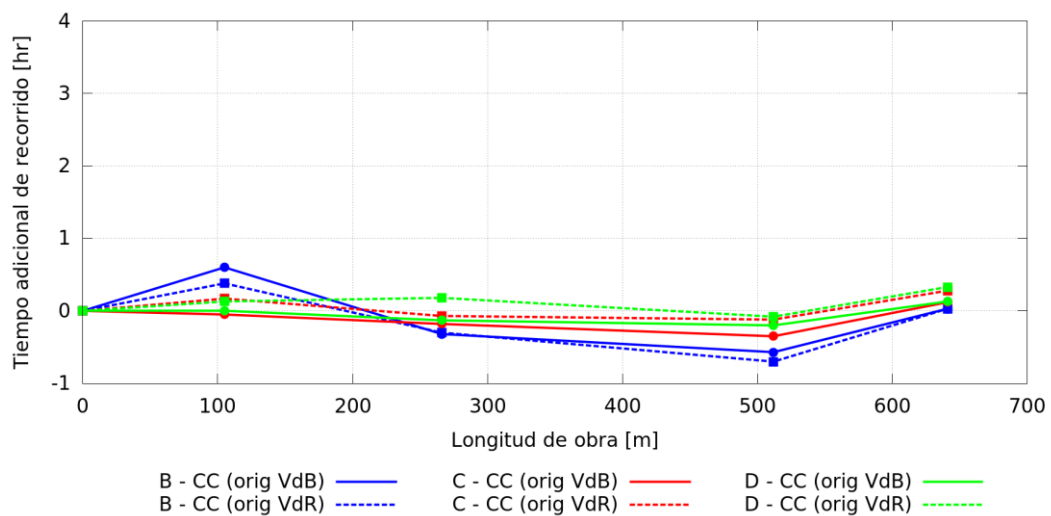
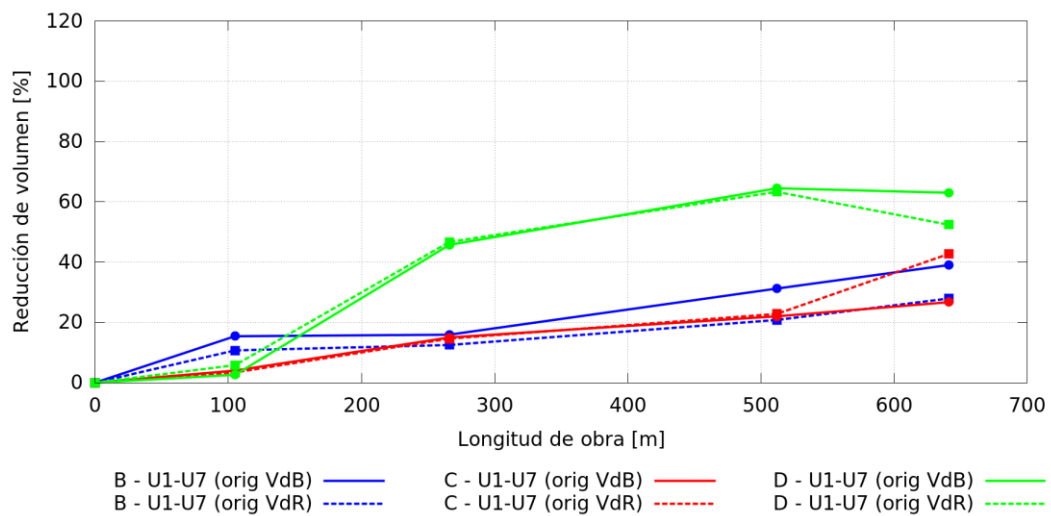
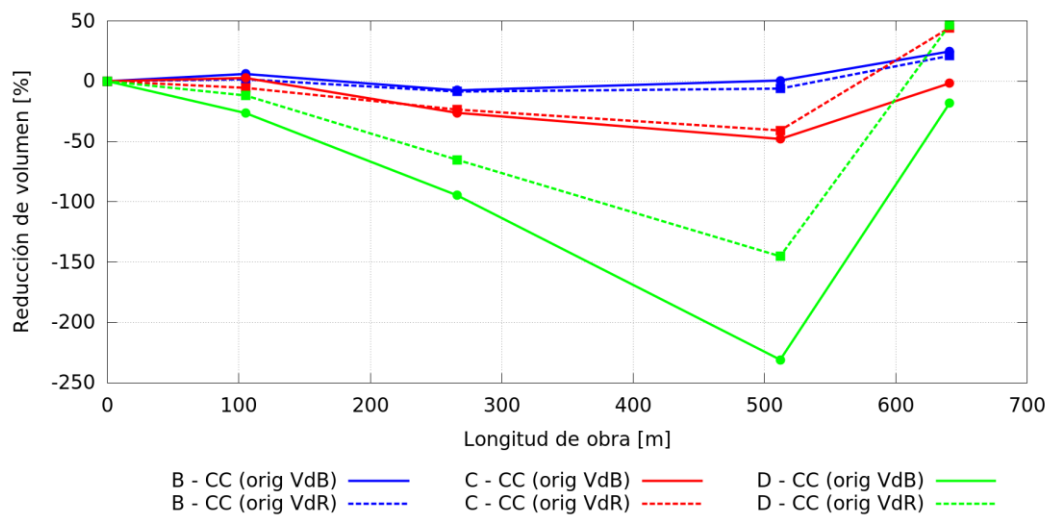


Figura 7.13. Tiempo de arribo relativo a la situación sin obra por origen para la Toma CC.

Las Figuras 7.12 y 7.13 se analizan los tiempos de comienzo de arribo de los residuos flotantes respecto de la situación sin obra. El impacto del tablestacado se da directamente sobre la Toma U1-U7 (Figura 7.12), ya que sobre la Toma CC no se observan cambios significativos en los tiempos de acuerdo a tipo de obra y descarga del Riachuelo (Figura 7.13). En la Toma U1-U7 se puede constatar que a menores caudales, los tiempos de arribo de los residuos sólidos son mayores, alcanzándose un incremento temporal de hasta tres horas según la variante analizada; mientras que a mayores caudales el impacto sobre los tiempos de arribo de las obras disminuye.



**Figura 7.14.** Reducción de volumen que arriba según origen a la Toma U1-U7 (relativo a la situación sin obra).



**Figura 7.15.** Reducción de volumen que arriba según origen a la Toma CC (relativo a la situación sin obra).

En las Figuras 7.14 y 7.15 se evalúa la reducción de volumen arribado implementando cada variante respecto de la situación sin obra. En la Toma U1-U7 (Figura 7.14), se observan reducciones de hasta 60% del volumen arribado solo para los caudales muy altos (Escenario D, 400 m<sup>3</sup>/s); para los otros dos escenarios las reducciones son menores, de hasta 40%. En cambio, para la Toma CC se dan incrementos en el volumen arribado, con cambios significativos para los caudales mayores (Figura 7.15).

## 8 CONCLUSIONES

El problema de la salida de servicio temporal de la Central Térmica Costanera debido a los daños generados en el sistema de bombeo en alguna de las tomas de agua para refrigeración ha sido abordado en este informe mediante modelación numérica desde la perspectiva del análisis hidrodinámico en el entorno de las tomas y de la evaluación del transporte y destino de los residuos sólidos flotantes ante la ocurrencia de la rotura de una barrera contenedora.

Como primera aproximación, y para una mejor comprensión de las características hidráulicas de la zona de estudio (Desembocadura del Riachuelo), en la modelación hidrodinámica del entorno de las tomas no fue tomada en cuenta la dinámica mareal del Río de la Plata obteniéndose estos primeros análisis imponiendo un nivel medio en esta condición de borde. Esta modelación fue realizada con un modelo hidrodinámico y de transporte del Río de la Plata apoyado por un modelo hidrológico-hidráulico de la Cuenca Matanza-Riachuelo, ambos satisfactoriamente calibrados y validados.

La hidrodinámica de la Desembocadura del Riachuelo resulta diferente si se tiene en cuenta (descarga total) o no (descarga hidrológica) la condición dinámica del Río de la Plata debido a la oscilación de niveles y consecuentemente de caudales. En cuanto al análisis estadístico de las series simuladas de caudal en el entorno de la Central Costanera se observó que a igual período de retorno, la diferencia que se da entre los caudales con y sin la condición dinámica del Río de la Plata, se debería a las oscilaciones en la descarga provocadas por la onda de marea.

De la modelación de la Cuenca Matanza-Riachuelo surgió el análisis de los tiempos de traslado del hidrograma de crecida en el último tramo del río durante tres tormentas (del tipo de las que han provocado incidentes con los residuos sólidos en la Central Costanera). Los tiempos, entre Puente La Noria y la Central Costanera, son de entre 3 y 4 horas para el inicio del hidrograma de crecida y entre 2 y 7 horas para la ocurrencia del pico. Además, se pudo observar que a mayores caudales, menores tiempos de arribo al pico de la onda de crecida. Las diferencias en el inicio son menos evidentes ante la variación del caudal.

Ante descargas bajas del Riachuelo, se puede observar que la Central Costanera se ve forzada a tomar agua proveniente del Río de la Plata. Cuando analizamos la alternativa de mitigación del tablestacado, se observa que el recorrido de los tubos que terminan en la toma, aumenta a medida que aumenta el caudal asociado al Riachuelo. Se puede verificar también para esta alternativa, la presencia de una zona de recirculación, con importantes velocidades (del orden de 0.5 m/s) en la zona aledaña a la toma que queda confinada por el tablestacado.

En la situación actual, desde la rotura instantánea de alguna de las barreras flotantes operativas del sistema de limpieza del espejo de agua del Matanza-Riachuelo (barreras de Vuelta de Badaracco y Vuelta de Rocha) transcurren aproximadamente entre 2 y 7 horas para iniciar el arribo de residuos sólidos a la toma de las Unidades 1 a 7 (Toma U1-U7), según la condición

hidrológica. También según el estado del Riachuelo, la Toma U1-U7 podría recibir entre el 20 y el 40 % del volumen de residuos interceptado por la barrera de la Vuelta de Badaracco y un rango mayor (10 a 40 %) si el origen es de la barrera de Vuelta de Rocha. Como comportamiento general se observa que a menor caudal las tomas receptionan una porción mayor del volumen de residuos sólidos puesto en movimiento por la rotura de las barreras flotantes, pero a mayor caudal mayor es la probabilidad de rotura de las barreras existentes.

En cuanto a las alternativa de mitigación vinculada con el tablestacado presentada, el impacto se da directamente sobre la Toma U1-U7. Sobre la Toma CC no se observan cambios significativos en los tiempos de acuerdo a tipo de obra y descarga del Riachuelo. En la Toma U1-U7 se puede constatar que a menores caudales, los tiempos de arribo de los residuos sólidos son mayores, alcanzándose un incremento temporal de hasta tres horas según la variante analizada; mientras que a mayores caudales el impacto sobre los tiempos de arribo de las obras disminuye. En la Toma U1-U7 la reducción de volumen arribado presenta valores de hasta el 60% solo para los caudales muy altos; para caudales altos las reducciones son menores, de hasta 40%. En cambio, para la Toma CC se dan incrementos en el volumen arribado, con cambios significativos para los caudales mayores. La opción de tablestacados no parecería muy adecuada ya que la reducción de volumen y de tiempos de arribo no son tan significativas como el esfuerzo para realizar las obras.

La opción de mejorar la barrera existente frente a la toma parece razonable, ya que las sollicitaciones de velocidad de corriente no se consideran importantes (máximo 0,27 m/s).

## REFERENCIAS

- Albarracín, J., 1987., Análisis de la hidrodinámica del Río de La Plata a partir de una simulación numérica, Tesis de grado para la Licenciatura en Oceanografía, ITBA (Argentina), Informe LHA-INCYTH 065-001-88, INCYTH, Argentina.
- Allen, C.M., 1982. Numerical simulation of contaminant dispersion in estuary flows. Proc. Roy. Soc. A., 381, 179-194.
- Bombardelli, F.A, Menéndez, A.N, Brea, J.D., Lapetina, M.R., Uriburu Quirno, M., 1995, Estudio hidrodinámico del Delta del Río Parana mediante modelación matemática, Informe LHA-INCYTH 137-03-95.
- Bombardelli, F.A.; Menéndez, A.N., Tarela, P.A., Vilela, C.P.X, 1997. Simulación 2D del comportamiento térmico de cuencos afectados por marea frente a descargas antrópicas. ENIEF97, X Congress on Numerical Methods and their Applications, San Carlos de Bariloche, Argentina, noviembre.
- Cancino, L., Neves, R., 1999, Hydrodynamic and sediment suspension modelling in estuarine systems, Part I: Description of the numerical models, Journal of Marine Systems, 22, 105-116.
- Campetella, C.M., D'onofrio, E., Cerne, S.B., Fiore, M.E., Possia, N.E., 2006. Negative storm surges in the Port of Buenos Aires, Int. J. Climatol., 27, pp. 1091-1101
- Chippada, S., Dawson, C., Wheeler, M., 1998 A Godonov-type finite volume method for the system of shallow water equations, Computer methods in applied mechanics and engineering, 151 (1), 105–130.
- Coelho, H., Neves, R., White, M., P. C. Leitão, Santos, A., 2002, A Model for Ocean Circulation on the Iberian Coast, Journal of Marine Systems, 32 (1-3), 153-179.
- Coles, S., 2001. An introduction to statistical modeling of extreme values, London, Springer.
- D'Onofrio, E.E, Fiore, M.E., Romero, S.I., 1999, Return periods of extreme water levels estimated for some vulnerable areas of Buenos Aires, Continental Shelf Research, 19, pp. 1681-1693.
- Escobar, G., Vargas, W.M., Bischoff, S., 2004. Wind tides in the Rio de la Plata estuary: meteorological conditions, International Journal of Climatology, 24, 1159–1169.
- 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.
- Guarga, R., Vinzón, S., Rodriguez, H., Piedra Cueva, I., Kaplan, E., 1991. Corrientes y sedimentos en el Río de la Plata. Reporte CARP (Comisión Administradora del Río de la Plata).

- Jaime, P.R., Menéndez, A.N., 1999. Modelo hidrodinámico Río de la Plata 2000, Informe LHA INA 183-01-99, INA, Argentina.
- Jaime, P.R., Menéndez, A.N., 2002, Análisis del régimen hidrológico de los ríos Parana y Uruguay, informe LHA-01-216-02, INA, Ezeiza.
- Kind, M.V., 2004. Desplazamiento del frente de salinidad del Río de la Plata debido al aumento del nivel medio del mar, Tesis de Ingeniería, Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.
- Lecertua, E.A., Menéndez, A.N., Badano, D. N., 2013. Modelación Hidrológica continua del Río Matanza - Riachuelo. XXVI Congreso Latinoamericano de Hidráulica, 14 al 18 de octubre, San Juan, Argentina.
- Lecertua, E.A., Menéndez, A.N., Re, M., 2014. Plumitas de contaminación por vertidos de efluentes cloacales en Ushuaia (Argentina). XXIV Congreso Nacional del Agua, 25 al 30 de agosto, Santiago, Chile.
- Martins, F., P. C. Leitão, A. Silva, R. Neves, 2001, 3D modelling of the Sado Estuary using a new generic vertical discretization approach, *Oceanologica Acta*, 24 (1), 51-62
- Menéndez, A.N., 1985. Simulación numérica de flujos cuasi-bidimensionales a superficie libre, Informe LHA-INCYTH S5-016-85, INCYTH, Argentina.
- Menéndez, A.N., 1990. Sistema HIDROBID II para simular corrientes en cuencos, *Revista internacional de métodos numéricos para cálculo y diseño en ingeniería*, 6 (1).
- Menéndez, A.N., 1997. Hydraulic studies for the water intake of Central Costanera. Informe LHA 01-155a-97. Instituto Nacional del Agua. Ezeiza, Argentina.
- Menéndez, A.; et al., 2009. Modelación Matemática de la Cuenca Matanza-Riachuelo para el Estudio de Alternativas de Saneamiento. Informe Integrador. Secretaria de Ambiente y Desarrollo Sustentable de la Nación Argentina.
- Menéndez, A.N., Badano, N.D., Lopolito, M.F., Re, M., 2013. Water Quality Assessment for a Coastal Zone through Numerical Modeling, *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 1:1, 8-16.
- Molinari, G.N, 1986. Simulación numérica de la circulación en el Río de la Plata, Tesis de grado para la Licenciatura en Oceanografía, ITBA (Argentina), Informe LHA-INCYTH S5-017-86, INCYTH, Argentina.
- Neves, R.J.J., 1985, Étude Expérimentale et Modélisation des Circulations Transitoire et Résiduelle dans l'Estuaire du Sado. Ph. D. Thesis, Univ. Liège
- Olalde, A.M., 1988. Simulación numérica de corrientes de deriva en el Río de la Plata, Tesis de grado para la Licenciatura en Oceanografía, ITBA (Argentina), Informe LHA-INCYTH 065-002-88, INCYTH, Argentina.
- Orué, R., Hillton, A., Parto, M., Maciel, J., Macedo, G., 2014. Estudio Batimétrico – Zona Central Costanera – Ciudad de Buenos Aires. Informe Técnico. INA, Argentina.

- Possia, N, Cerne, B., Campetella, C., D'Onofrio, E., Fiore, M., Saurral, R., Bertolotti, M., 2005: Las bajantes del Río de la Plata. Casos extremos. CONGREGMET IX. Buenos Aires, Octubre 2005.
- Re, M., Menéndez, A.N., 2003, Modelo Hidrodinámico del Río de la Plata y su Frente Marítimo, Informe INA-LHA 03-216-03, INA, Argentina
- Re, 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).
- Re, M., Lecertúa, E., García, P., Menéndez, A.N., 2009. Zoning for Hydraulic Impact Studies on the Coastal Zone of the Plata River, 6th Symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, RCEM 2009, Santa Fe, Argentina, september.
- Re, M., García, P.E., Lecertua, E., Menéndez, A.N., 2010. Modelación del impacto hidráulico de un relleno costero en zona compleja, XXIV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Punta del Este, Uruguay, noviembre.
- Saraiva, S., Pina, P., Martins, F., Santos, M., Braunschweig, F., Neves, R., 2007, Modelling the influence of nutrient loads on Portuguese estuaries, *Hydrobiologia* (2007) 587:5–18
- Simionato, C.G., Dragani, W., Nuñez, M., Engel, M, 2004, A set of 3-D nested models for tidal propagation from the Argentinean Continental Shelf to the Rio de la Plata Estuary - Part I: M2. *Journal of Coastal Research*, 20 (3), 893–912.
- Simionato, C.G., Moreira, D., Piedra Cueva, I., Fossati, M., Re, M., Sabarots Gerbec, M., Menendez, A.N., Cayocca, F., 2011. Proyecto FREPLATA-FFEM – Modelado numérico y mediciones in-situ y remotas de las transferencias de sedimentos finos a través del Río de la Plata. Parte B. Simulaciones numéricas. *Revista Frente Marítimo*, 22, 137-176.
- Smagorinsky, J.S, 1963. General turbulence model of the atmosphere, *Monthly Weather Review*: 91, 99-164.
- Tarela, P.A., Menéndez, A.N., Bombardelli, F.A., Vilela, C.P.X., 1997. Modelación hidrosedimentológica en tomas de agua afectadas por un régimen de marea. ENIEF97, X Congress on Numerical Methods and their Applications, San Carlos de Bariloche, Argentina, noviembre.
- Trancoso, A., S. Saraiva, L. Fernandes, P. Pina, P. Leitão & R. Neves, 2005. Modelling macroalgae using a 3D hydrodynamic-ecological model in a shallow, temperate estuary. *Ecological Modelling* 187: 232–246.

## ANEXO I



Municipalidad de Avellaneda  
Secretaría de Obras y Servicios Públicos



### PARTE DIARIO DE TRABAJO

Informe N°: 13

### PROYECTO: GESTION, LIMPIEZA E INSPECCION DEL ESPEJO DE AGUA

Recorrido de Inspección	Bosch - Pte Nicolás Avellaneda
Fecha	03-04-2013
Rango Horario	08:00 a 12:00
Inspectores	Mauro Rossi - Tatiana Salvatierra
Vehículo	Km Total: Km Diario:

#### Novedades del Servicio de Limpieza:

BARCAZAS	Funciona ndo (si/no)	Deposito Transitorio (lleno/vacio/%)	Observaciones	Hora
FRANCISCO T.				
MANUEL T.	si	LRAD	RSU/Aridos	10:35
SANTA ROSA				
LA PLAYERA III	si	75%	R.S.U/Aridos	

LANCHAS	Funcionando (si/no)	Observaciones	Hora
DELTA TRAVEL VI	Si	Mantenimiento	08:40
LOS CHARITOS I	Si	Mantenimiento	08:31
LOS CHARITOS III			08:40
ZONA CALAMAR III			

GRUAS	Funciona (si/no)	Observaciones	Hora
Plataf. H°A° Erezcano			
Plataf. H°A° Bosch			

CAMION/PAT	Ubicación	Observaciones	Hora

BARRERAS DE CONTENSION	Funciona (si/no)	Estado (%)	Ref. Foto	Observaciones	Hora
Vta de Bosch	si	varia	03283/03282	En reparación	10:40
Vta. Baduracco	no	✓	03277/03278	lote	10:30
BOSCH	si		03297	Funciona a las	11:20

Fuente: <http://www.cij.gov.ar/riachuelo.html>