



INSTITUTO NACIONAL DEL AGUA

SUBSECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS

SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS

REPÚBLICA ARGENTINA

**PUERTO
BUENOS AIRES**

**ESTUDIO DE IMPACTO DE LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE BUENOS
SOBRE LA TOMA DE AGUA DE AYSA**

Informe Final



**Proyecto LHA366
Informe LHA 09-366-19
Ezeiza, Septiembre de 2019**

Laboratorio de Hidráulica

AUTORIDADES DEL INA

PRESIDENTE

Ing. Pablo SPALLETTI

GERENTE DE PROGRAMAS Y PROYECTOS

a/c Ing. Julio C. DE LÍO

DIRECTOR DEL LABORATORIO DE HIDRÁULICA

Ing. Julio C. DE LÍO

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dr. Ángel N. MENÉNDEZ

Jefe del Programa de Hidráulica Computacional

EQUIPO DE TRABAJO

Ing. Mag. Mariano RE

Ing. Pablo GARCÍA

ESTUDIO DE IMPACTO DE LA AMPLIACIÓN DEL PUERTO DE BUENOS SOBRE LA TOMA DE AGUA DE AYSA

RESUMEN

Se presenta un estudio para determinar la eventual afectación de las condiciones de calidad de agua en la toma de AySA debido a la ampliación del puerto de Buenos Aires.

Descriptores temáticos: contaminación, trayectorias de partículas

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

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
2	MODELO HIDRODINÁMICO	4
2.1	Implementación del modelo	4
2.1.1	Sistema de Modelación MOHID	4
2.1.2	Dominios de cálculo	4
2.1.3	Batimetría	6
2.1.4	Forzantes	8
2.2	Validación del modelo	9
2.2.1	Condiciones normales	9
2.2.2	Condiciones extremas	11
3	ANÁLISIS DEL IMPACTO	13
3.1	Planteo	13
3.2	Escenarios de análisis	15
3.3	Condiciones normales	15
3.4	Condiciones de Sudestada	25
3.5	Condiciones de bajante	33
4	CONCLUSIONES	43

1 INTRODUCCIÓN

La Administración General de Puertos (AGP) encargó al INA llevar a cabo estudios para determinar si la ampliación del puerto de Buenos Aires puede producir un impacto sobre las condiciones de calidad del agua en torno a la toma de agua de AySA ubicada en Palermo, debido al posible desplazamiento de la franja de contaminación costera hacia el interior del Río de la Plata.

Para responder a este interrogante se planteó una metodología basada en la modelación numérica. Específicamente, se efectuó el seguimiento de trayectorias fluidas para los escenarios de configuración original y proyectada del puerto, de modo de detectar por observación posibles diferencias. Adicionalmente, se construyó un indicador cuantitativo basado en concentraciones relativas advectadas por las partículas, a partir de un perfil transversal de concentraciones representativo de las distribuciones observadas durante los monitoreos periódicos de la franja costera.

La organización del Informe es como sigue:

- En el capítulo 2 se describe el modelo hidrodinámico utilizado.
- En capítulo 3 se presenta la aplicación del modelo para determinar las trayectorias fluidas y el indicador de concentración.
- En el capítulo 4 se desarrollan las conclusiones del estudio.

2 MODELO HIDRODINÁMICO

2.1 Implementación del modelo

2.1.1 Sistema de Modelación MOHID

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

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

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

2.1.2 Dominios de cálculo

El modelo está implementado sobre tres dominios anidados (Figura 2.1). El Dominio 1, que es el de mayor extensión (y menor resolución), provee de condiciones de borde al Dominio 2 y éste a su vez al Dominio 3, que es el de menor extensión (y mayor resolución). La zona-problema se resuelve detalladamente en el Dominio 3.

El Dominio 1 abarca prácticamente todo el Río de la Plata Interior, llegando hasta la línea imaginaria Punta Piedras (Argentina) – Punta del Tigre (Desembocadura del río Santa Lucía, Uruguay). Sus dimensiones son de 210 km x 98 km; fue discretizado con un paso espacial de 1 km en ambas direcciones, resultando 210 celdas en la dirección x y 98 en la dirección y. El Dominio 2 se ubica sobre la Franja Costera Sur del Río de la Plata, aproximadamente desde San Isidro hasta Ensenada, con una longitud de 62 km y un ancho de 30 km, y fue discretizado con un paso de 200 m en ambas direcciones, resultando 310 celdas en x y 150 celdas en y. El Dominio 3 tiene 20 km de largo y 11 km de ancho, y fue discretizado con un paso de 40 m en ambas direcciones, resultando en 517 columnas y 278 filas, comenzando en el límite entre la Ciudad de Buenos Aires y el partido de Vicente López (Av. Gral Paz) y llegando hasta Quilmes, focalizándose en la zona-problema.

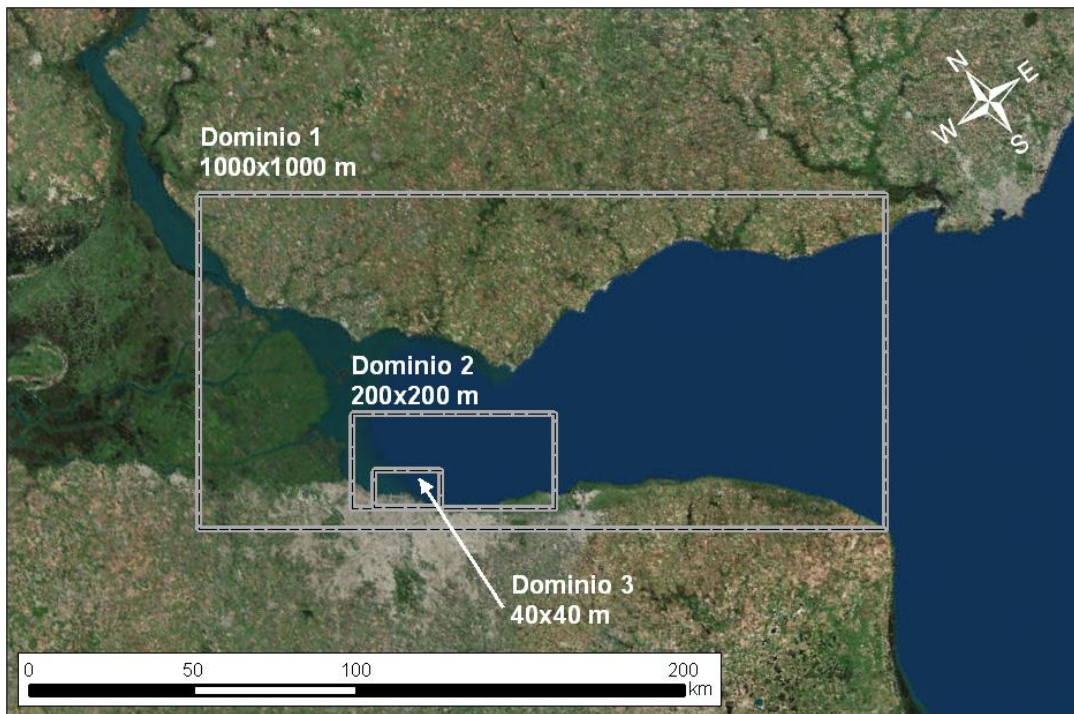


Figura 2.1. Dominios de cálculo.

Por razones de precisión (y, eventualmente, de estabilidad numérica), el paso de discretización temporal (Δt) depende del paso espacial, de modo que este resulta distinto en cada uno de los dominios. La relación entre ellos tiene que ser del orden de la celeridad de propagación de la onda de marea. Para el presente problema se seleccionaron los valores mostrados en la Tabla 2.1.

Tabla 2.1. Paso temporal para cada dominio.

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

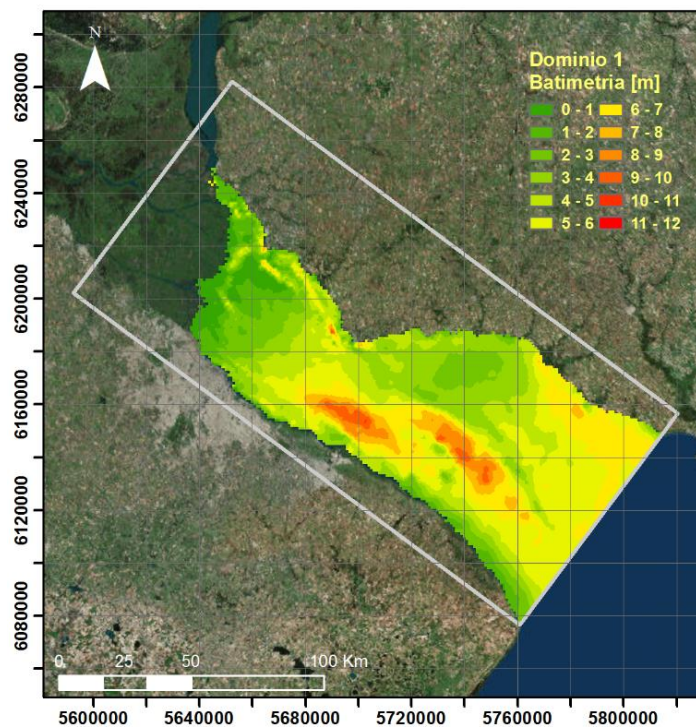
2.1.3 Batimetría

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

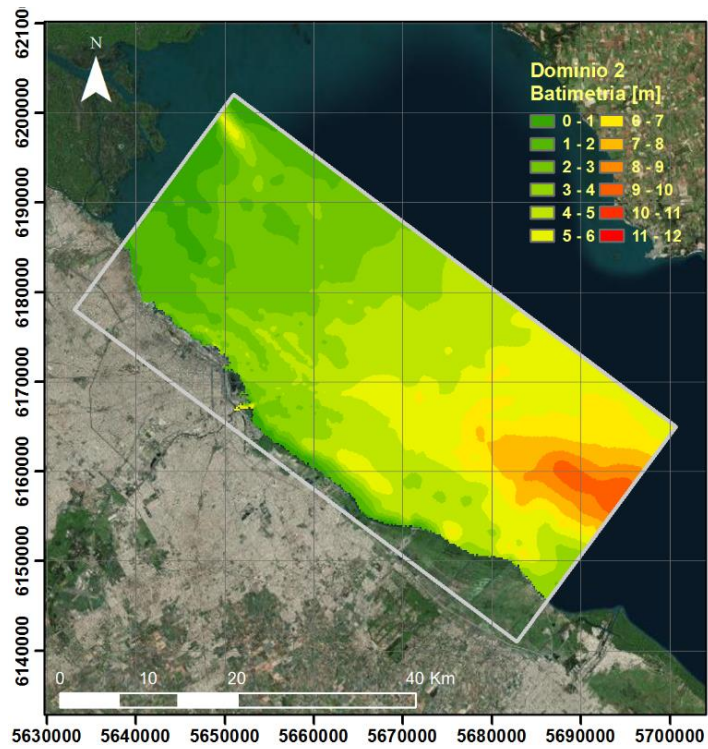
- SHN-H116, Río de la Plata Medio y Superior
- SHN-H118, Río de la Plata Superior
- SHN-H130, Delta del Paraná
- SHN-H156, Puerto de Buenos Aires

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 5.679 puntos.

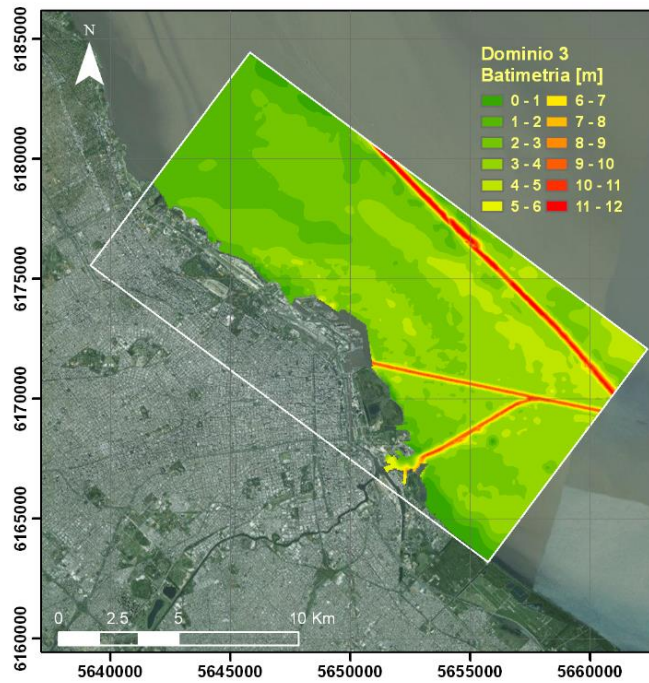
La Figura 2.2 muestra los Modelos Digitales de Elevación (MDE) del fondo resultantes para cada dominio, cada uno con el paso de discretización correspondiente.



a. Dominio 1



b.Dominio 2



c.Dominio 3

Figura 2.2. MDE del fondo para cada dominio.

2.1.4 Forzantes

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

La onda de marea oceánica se especifica en la línea Punta Piedras – Punta del Tigre, a partir de resultados provistos por el modelo regional RPP2D¹.

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 2.3). Las series temporales de caudales de los ríos Uruguay y Paraná fueron obtenidos del Sistema Nacional de Información Hídrica (Subsecretaría de Recursos Hídricos de la Nación). A partir del caudal del río Paraná, los correspondientes a sus diversos brazos se obtuvieron a través de un esquema de partición establecido². Por su parte, se adoptó 15 m³/s como caudal medio del río Luján³.

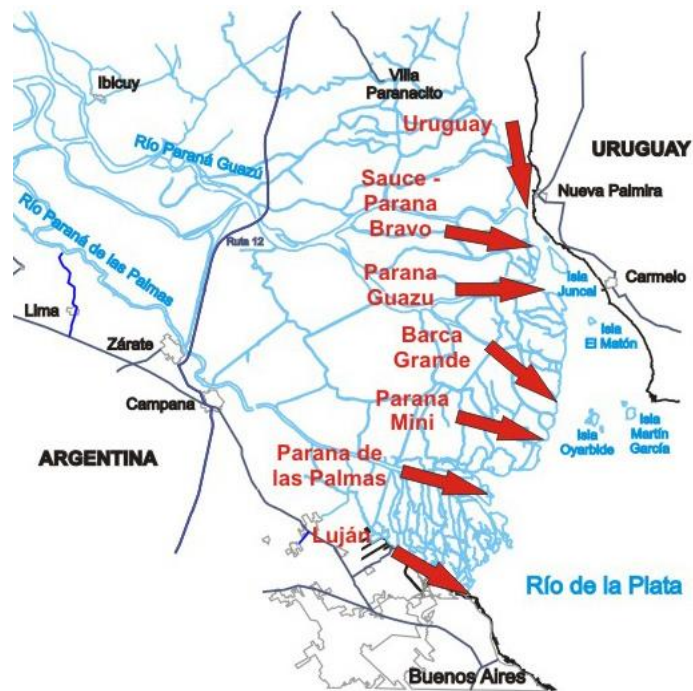


Figura 2.3. Tributarios del Río de la Plata.

¹ 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).

² Bombardelli, F.A., Menéndez, A.N., Brea, J.D., Lapetina, M.R., Uriburu Quirno, M., 1995, Estudio hidrodinámico del Delta del Río Paraná mediante modelación matemática, Informe LHA-INCYTH 137-03-95.

³ Menéndez, A.N., Lopolito, M.F., Badano, N.D., Re, M., "Evaluación de la Calidad del Agua en la Franja Costera Sur del Río de la Plata mediante Modelación Numérica", Informe INA-LHA 02-1.207-11, enero de 2011

2.2 Validación del modelo

2.2.1 Condiciones normales

Se dispuso de mediciones de velocidad de corriente realizadas por Aguas Argentinas S.A. (actual AySA, Agua y Saneamientos Argentinos S.A.) en las ubicaciones que se presentan en la Figura 2.4, cercanas a las tomas de agua de Palermo y de Bernal para el período 10/Mar al 20/Abr de 2004. Para la validación se utilizó la ventana temporal 19/Mar/04 – 24/Mar/04, que es un período durante el cual la situación es de vientos suaves, que puede considerarse como representativo de un escenario hidrometeorológico normal.

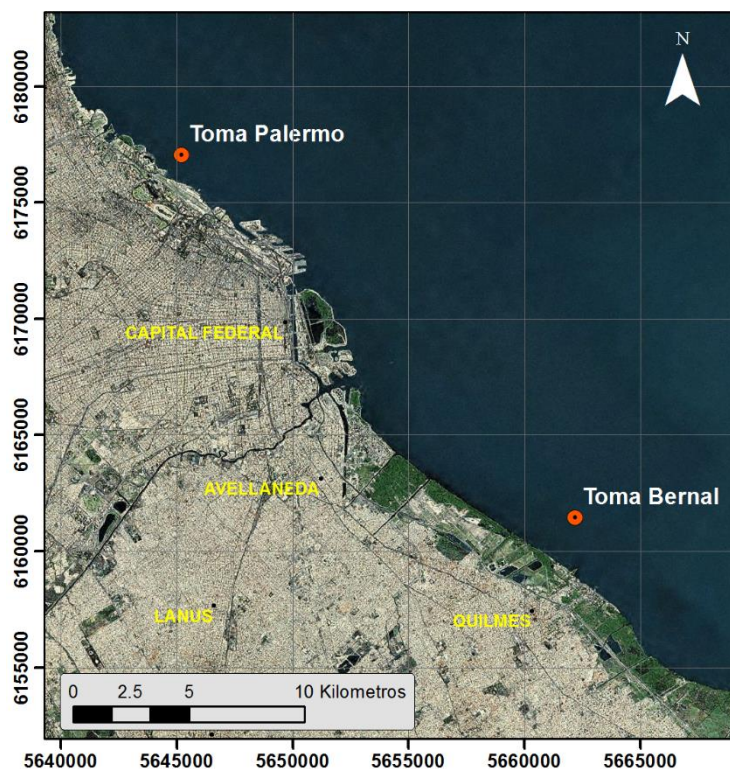
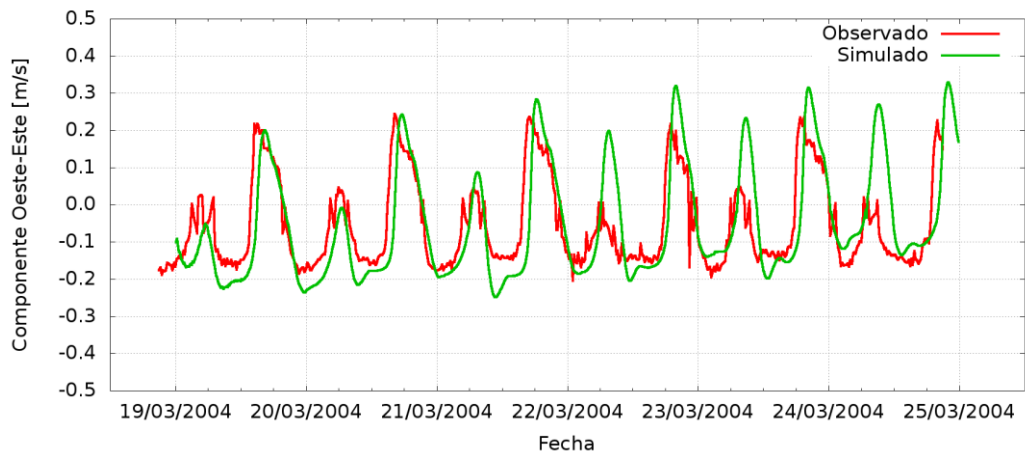
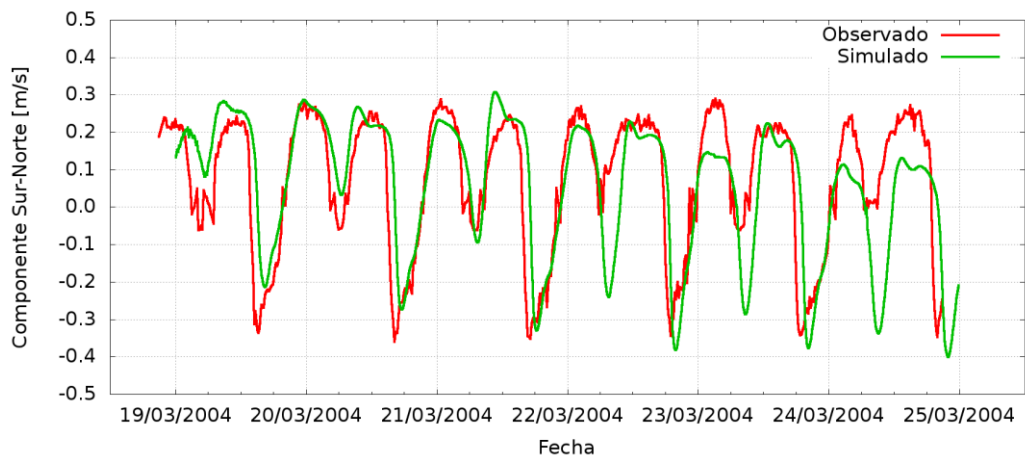


Figura 2.4. Ubicación de puntos de medición de velocidades.

En la Figura 2.5 y la Figura 2.6 se muestran las comparaciones entre las series temporales de las dos componentes de la velocidad de la corriente para las estaciones Palermo y Bernal, respectivamente. Se observa un acuerdo general satisfactorio. La Figura 2.7 presenta la comparación entre las rosas de corrientes para el mismo intervalo de tiempo. Se observa que existe compatibilidad general en cuanto a la dirección principal de movimiento y la magnitud de los picos de corriente en ambos sentidos. La leve diferencia de dirección que se observa para la estación Palermo, la más cercana a la costa, es un efecto de la representación discreta del contorno costero.

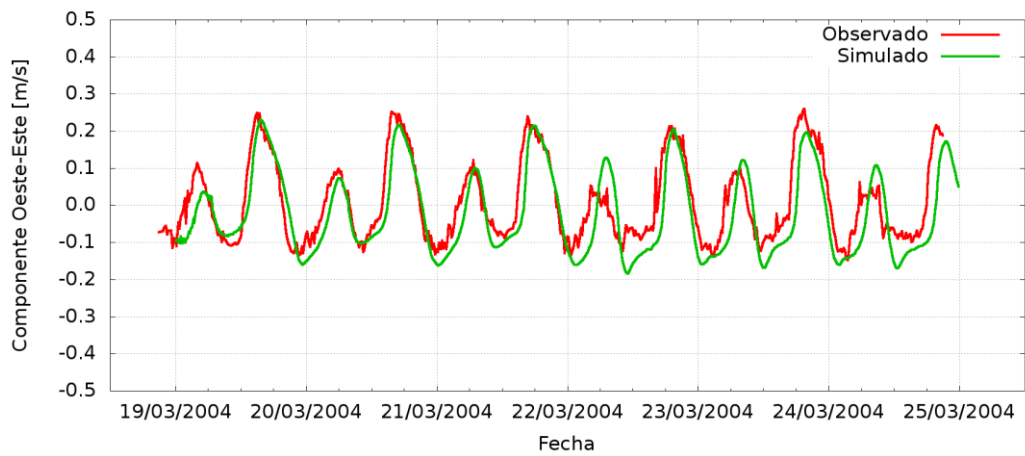


a. Componente Oeste-Este

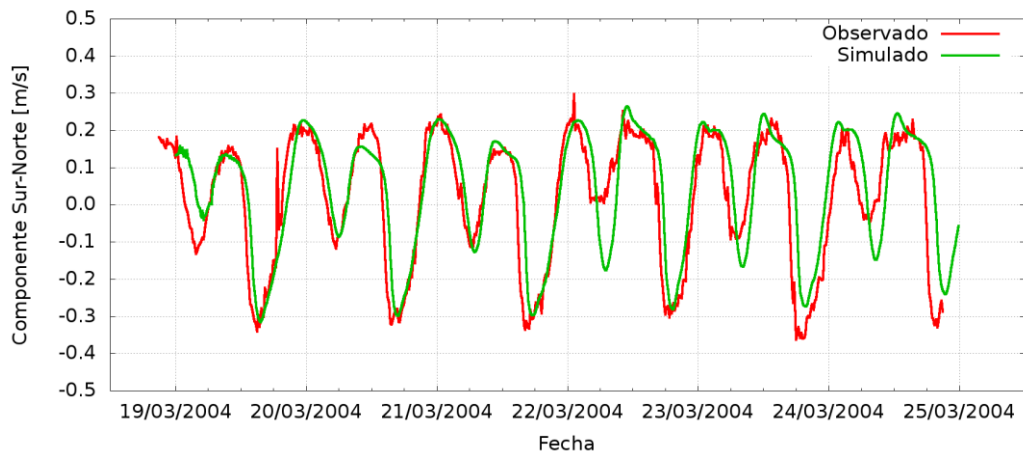


b. Componente Sur-Norte

Figura 2.5. Comparación de velocidades medidas y calculadas en estación Palermo.

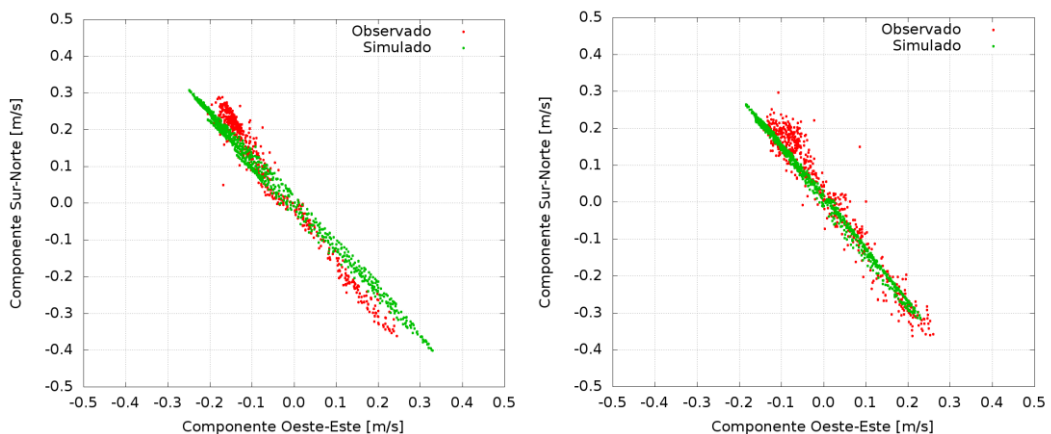


a. Componente Oeste-Este



b. Componente Sur-Norte

Figura 2.6. Comparación de velocidades medidas y calculadas en estación Bernal.



a. Palermo

b. Bernal

Figura 2.7. Comparación de rosas de corrientes medidas y calculadas.

2.2.2 Condiciones extremas

La Sudestada es un fenómeno que se localiza en la región del Río de la Plata y su Frente Marítimo, y está caracterizada por vientos persistentes, regulares a fuertes, del sector Sudeste. La Sudestada genera una onda de tormenta que penetra en el Río de la Plata, incrementando su nivel, efecto que además se potencia por la propia acción local del viento, alineado con el eje del río.

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

Para validar la modelación en estas condiciones extremas se dispuso de mediciones del nivel del agua en Buenos Aires, provistos por el Servicio de Hidrografía Naval, para cada uno de los siguientes dos eventos: bajante de Noviembre 2002 (9 al 11 de noviembre) y Sudestada de Mayo 2000 (14 al 19 de mayo). Se utilizaron datos de vientos de NCEP/NCAR, debidamente corregidos para representar su valor en la superficie del agua. La Figura 2.8 y la Figura 2.9 muestran las comparaciones de la Sudestada y la bajante, respectivamente, observándose un acuerdo satisfactorio.

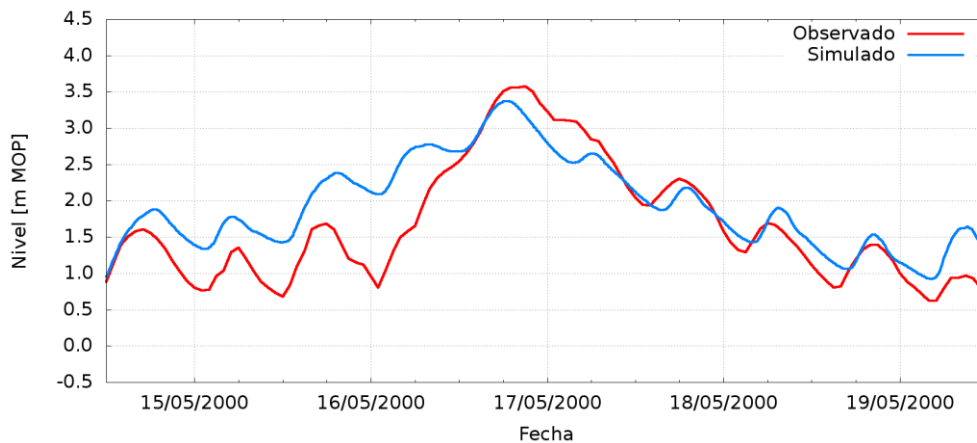


Figura 2.8. Comparación de niveles en Buenos Aires. Sudestada de Mayo 2000.

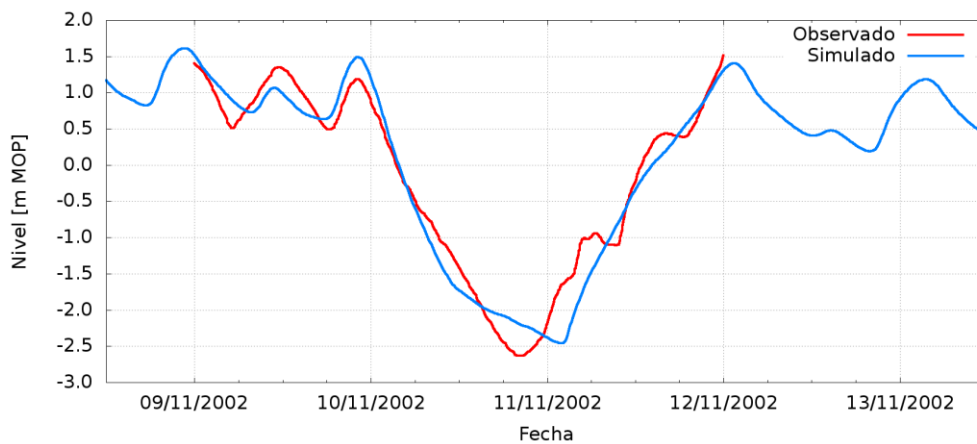


Figura 2.9. Comparación de niveles en Buenos Aires. Bajante de Noviembre 2002.

3 ANÁLISIS DEL IMPACTO

3.1 Planteo

Se utilizó el modelo matemático hidrodinámico del Río de la Plata Interior presentado en el capítulo anterior para simular las trayectorias de partículas fluidas emergiendo desde una transecta ubicada aguas arriba de la toma de agua Palermo de AySA (Figura 3.1). Se utilizó el Módulo Lagrangiano del Sistema MOHID sobre el dominio 3 (Figura 2.2.c). El detalle de la ubicación de los puntos emisores de la transecta y su distancia a la costa se indica en la Tabla 3.1. Los ensayos se efectuaron para la configuración original y la configuración de proyecto del puerto, a fin de detectar posibles cambios.

Por otro lado, se estableció una distribución típica de concentración relativa a lo largo de la transecta en base a datos de monitoreo (ver más abajo). Utilizando este perfil se asignaron valores de concentración a cada partícula, los cuales fueron advectados por las partículas para las dos configuraciones. Para construir el indicador de concentración se implementó una caja ('box') en torno a la toma de agua. Una caja es un volumen del cuerpo de agua donde puede realizarse un seguimiento detallado de variables transportadas por las partículas. La misma se materializó con 9 celdas (cada celda tiene 40 m de lado), representando así a la toma y al entorno, de modo de efectuar un análisis conservador. El indicador establecido consiste en efectuar, para cada instante de cálculo, el promedio de las concentraciones de las partículas contenidas en la caja. Téngase en cuenta que se trata sólo de un indicador a ser utilizado para comparar los comportamientos en ambas configuraciones (sin pretensiones de constituir el valor de concentración que surgiría de una modelación más elaborada).

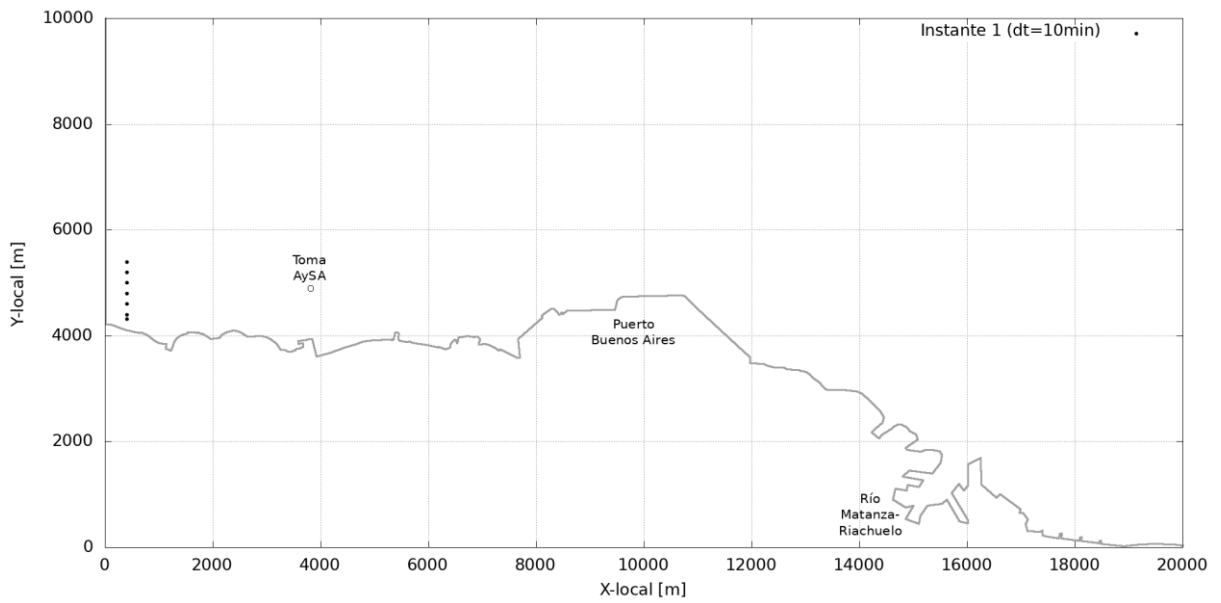


Figura 3.1. Transecta de emisión de partículas.

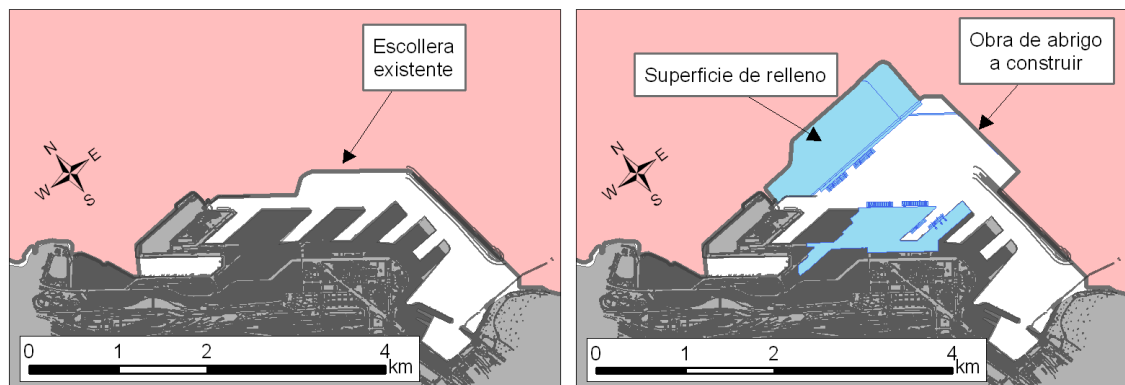
Tabla 3.1. Ubicación de los emisores de partículas

Emisor	Distancia a la costa [m]	Latitud	Longitud
1	200	34°31'36.49"S	58°27'13.25"W
2	280	34°31'34.45"S	58°27'11.61"W
3	480	34°31'29.06"S	58°27'7.22"W
4	680	34°31'23.52"S	58°27'2.74"W
5	880	34°31'18.17"S	58°26'58.38"W
6	1080	34°31'12.83"S	58°26'54.02"W
7	1280	34°31'7.60"S	58°26'49.75"W

3.2 Escenarios de análisis

Tal como se explicó más arriba, se modelaron dos escenarios de configuración del puerto, a saber (Figura 3.2):

- Escenario CA:** Representa la configuración original del puerto.
- Escenario CP:** Corresponde a la configuración de proyecto del puerto, con los rellenos afectando una superficie aproximada de 104 hectáreas, y la construcción de una nueva obra de abrigo de aproximadamente 1400 m.



a) Escenario CA

b) Escenario CR

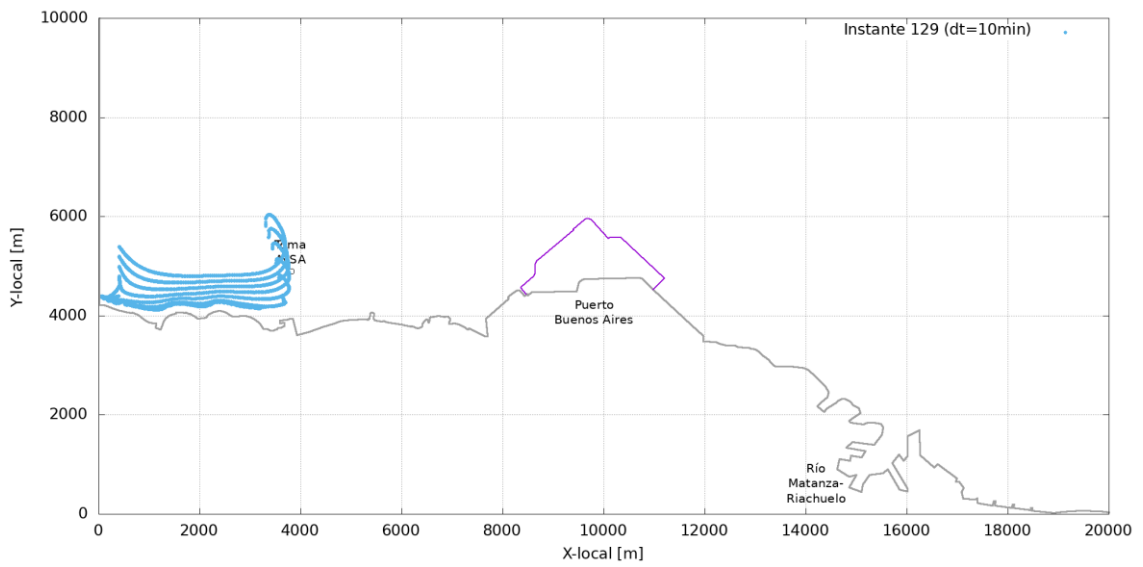
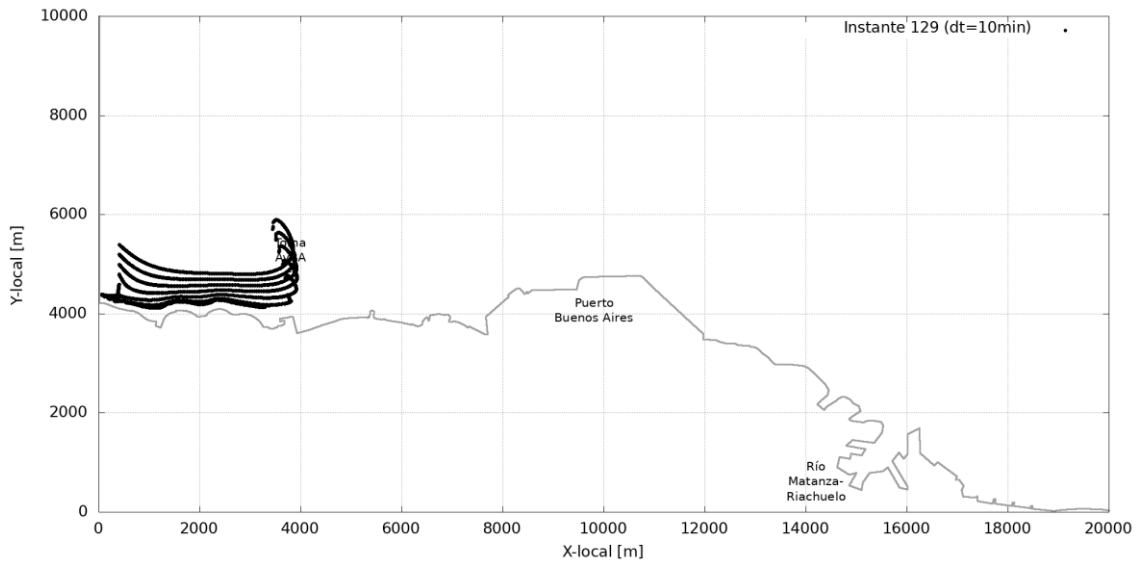
Figura 3.2. Escenarios de configuración del puerto.

Respecto a la hidrometeorología, se estudiaron tres escenarios:

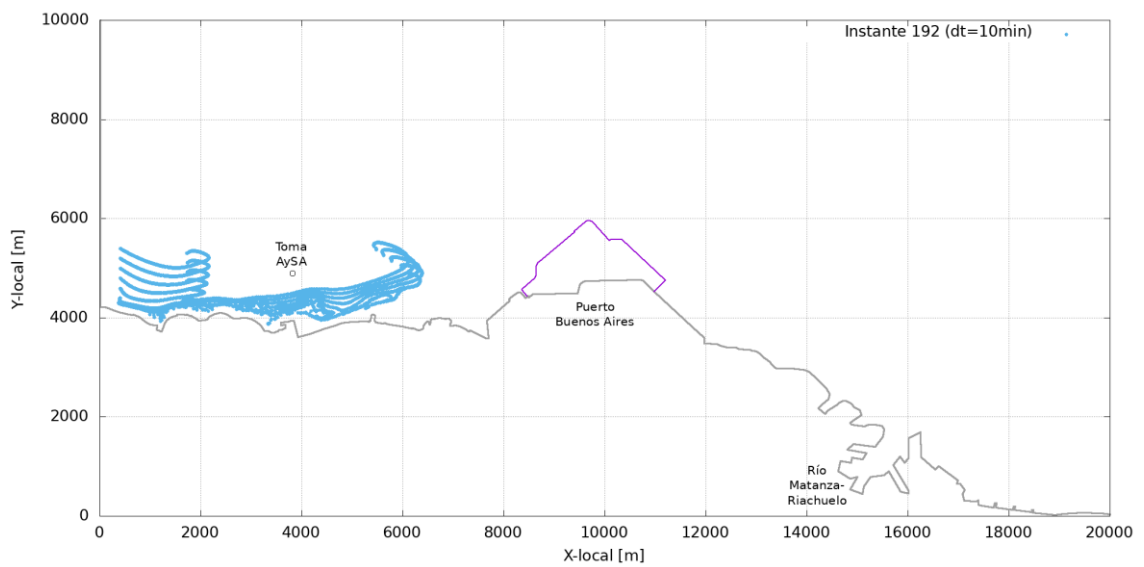
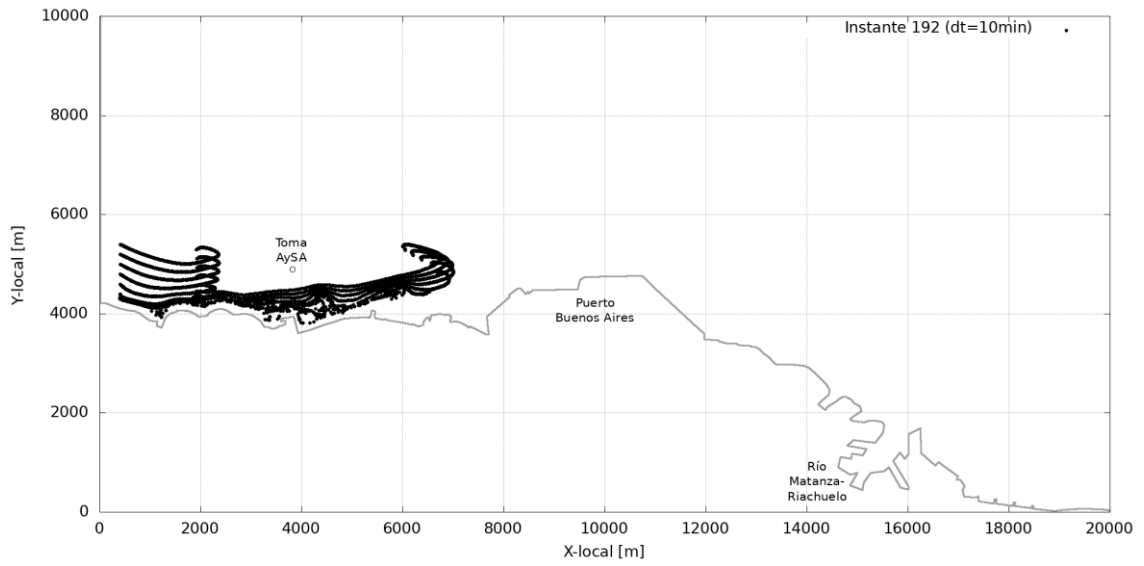
- Condiciones normales (vientos leves): entre el 19/05/2000 y el 26/05/2000. El ciclo de mareas en esa ventana temporal tiene una amplitud de aproximadamente 0,80 m alrededor del nivel medio del Río de la Plata a la altura de la ciudad de Buenos Aires.
- Condiciones de sudestada: entre el 11/05/2000 y el 22/05/2000 de mayo. En esa ventana temporal se registró un nivel máximo en el Río de la Plata frente a la ciudad de Buenos Aires de 3,5 m MOP (Ver Figura 2.8).
- Condiciones de bajante: entre el 05/11/2002 y el 16/11/2002. El nivel mínimo registrado en el Río de la Plata frente a la ciudad de Buenos Aires en ese evento fue de -2,5 m MOP (Ver Figura 2.9).

3.3 Condiciones normales

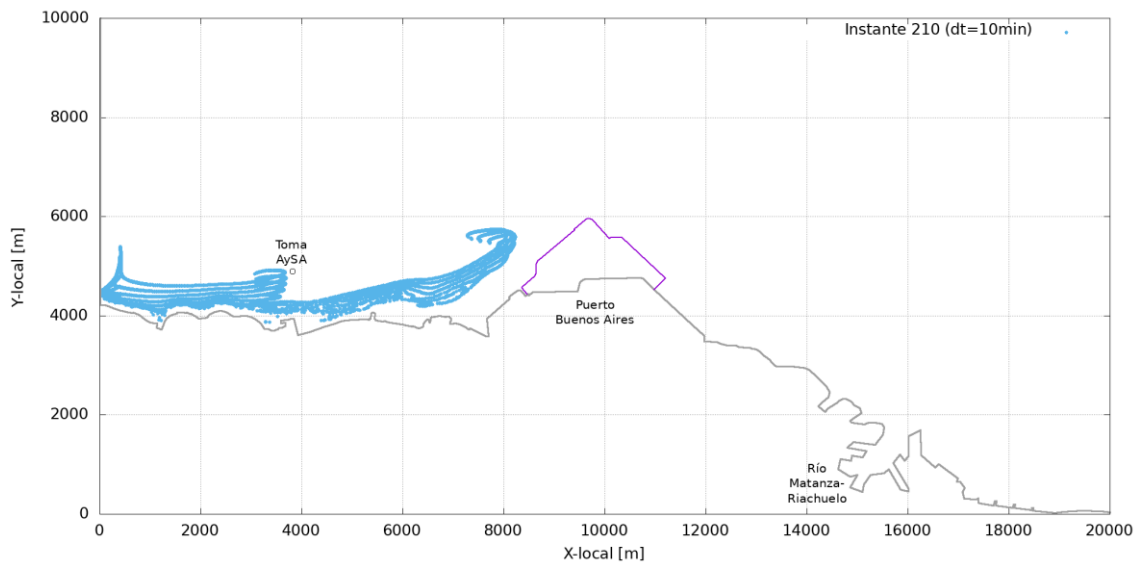
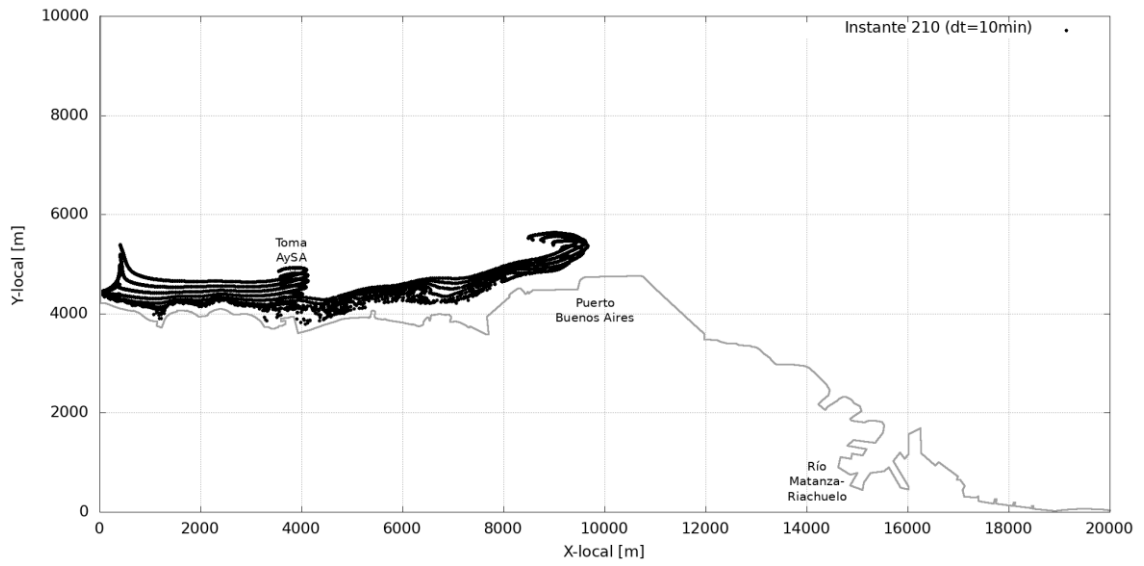
La Figura 3.3 muestra las trayectorias de las partículas emitidas por las descargas ubicadas en la transecta aguas arriba de la toma de agua Palermo de AySA para la configuración original (Escenario CA) y proyectada del puerto (Escenario CR) en condiciones hidrometeorológicas normales. Se observa que la trayectorias fluidas que atraviesan la toma de agua no se ven afectadas por la presencia del puerto, es decir, a simple vista las trayectorias son coincidentes en esa zona para las dos configuraciones portuarias. Esto es una muestra de que la ampliación del puerto no producirá impacto en las condiciones en torno a la toma.



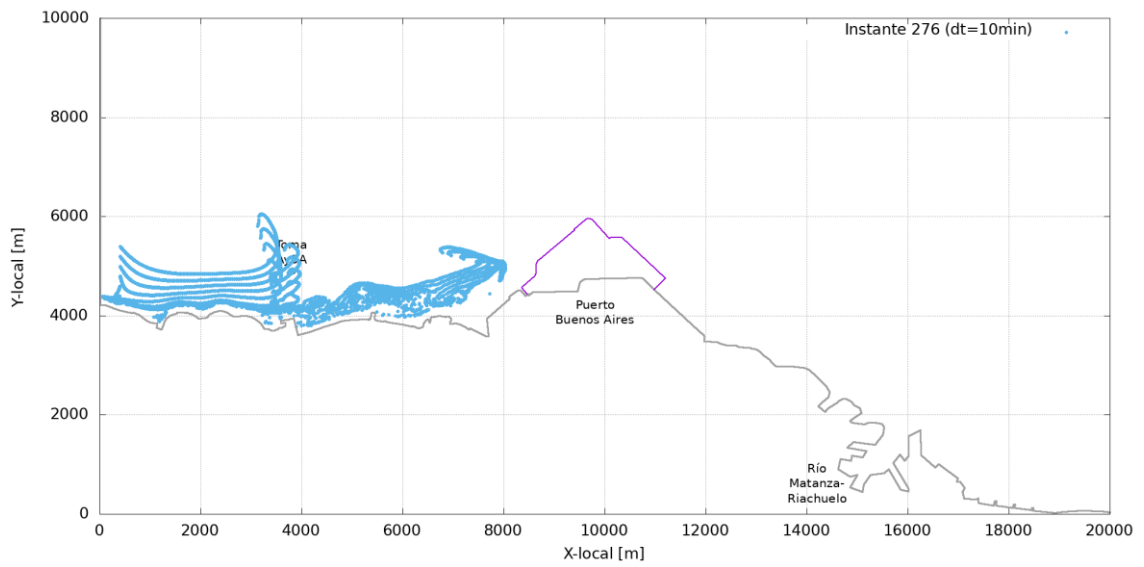
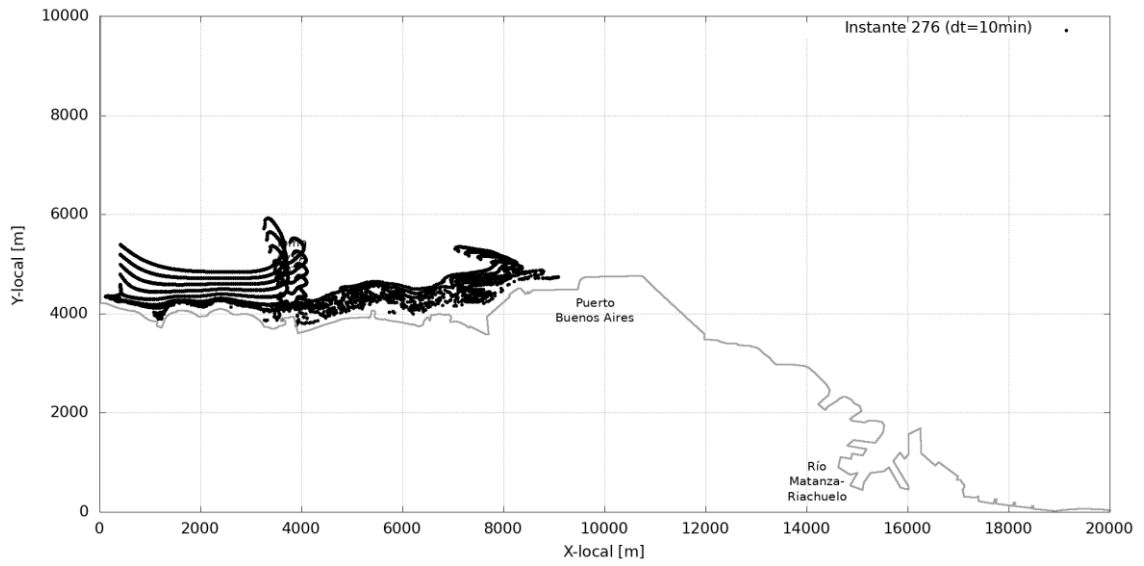
a) Día 1 – Hora 21:30



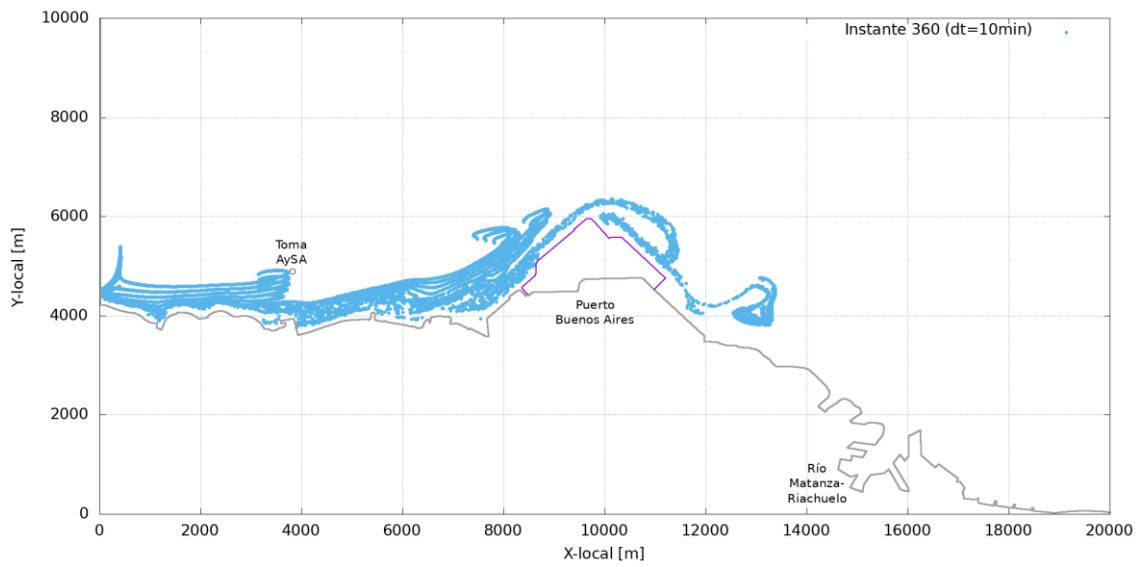
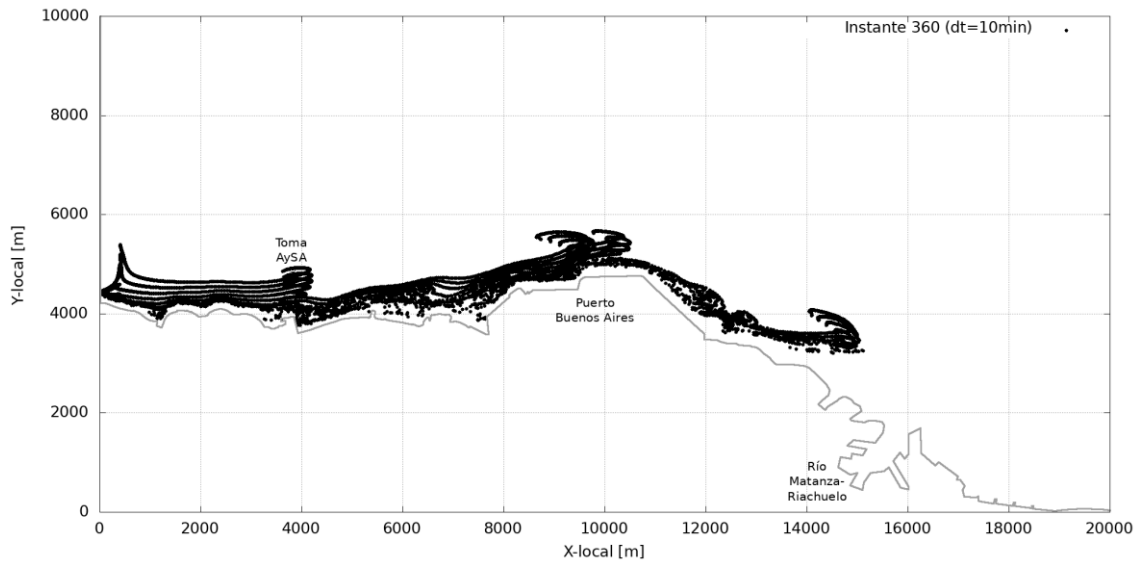
b) Día 2 – Hora 08:00



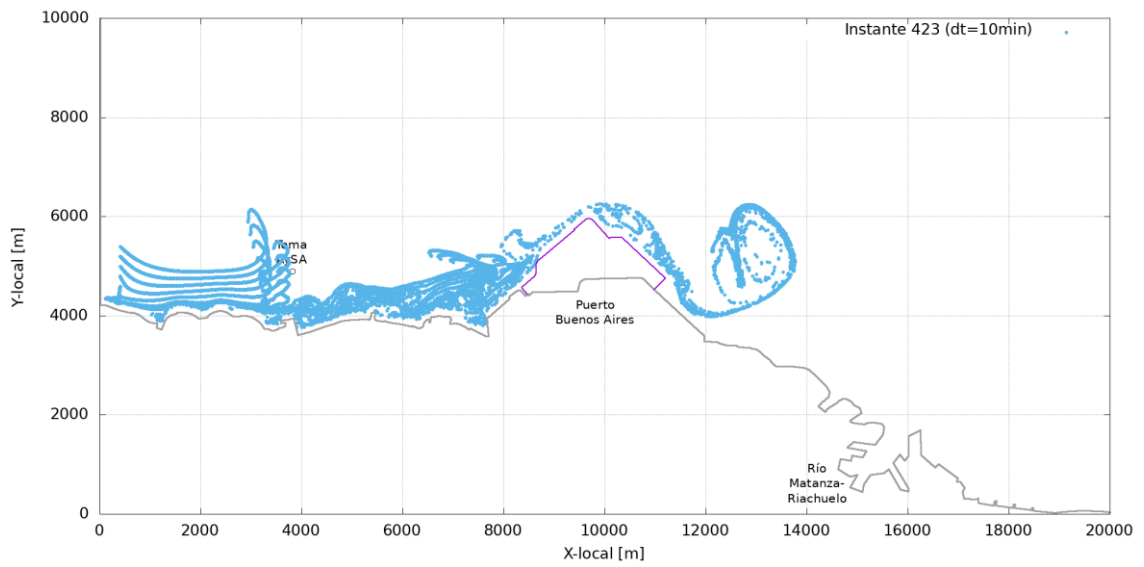
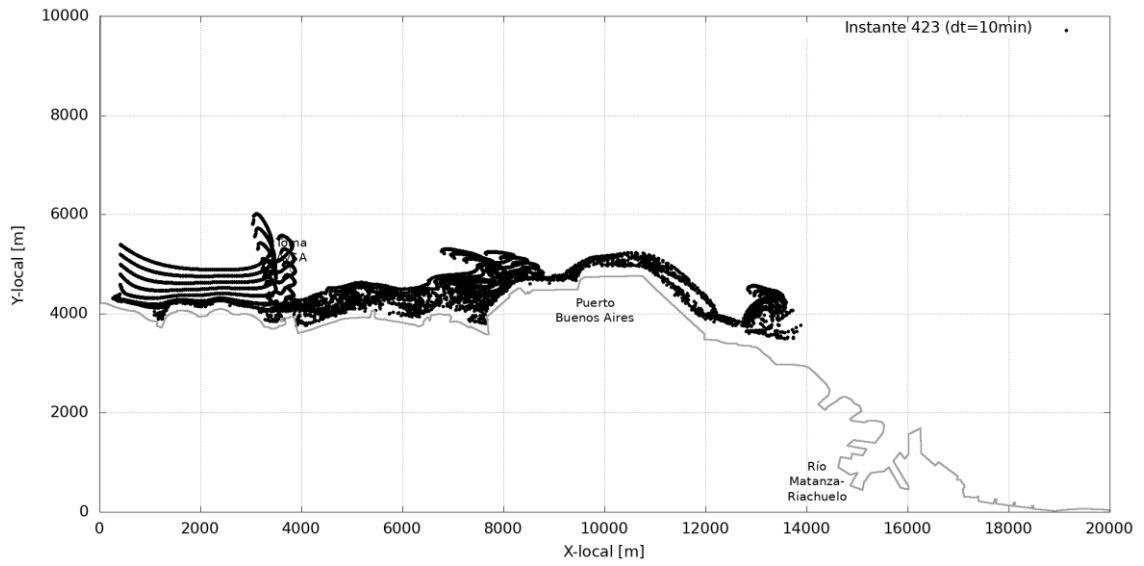
c) Día 2 – Hora 11:00



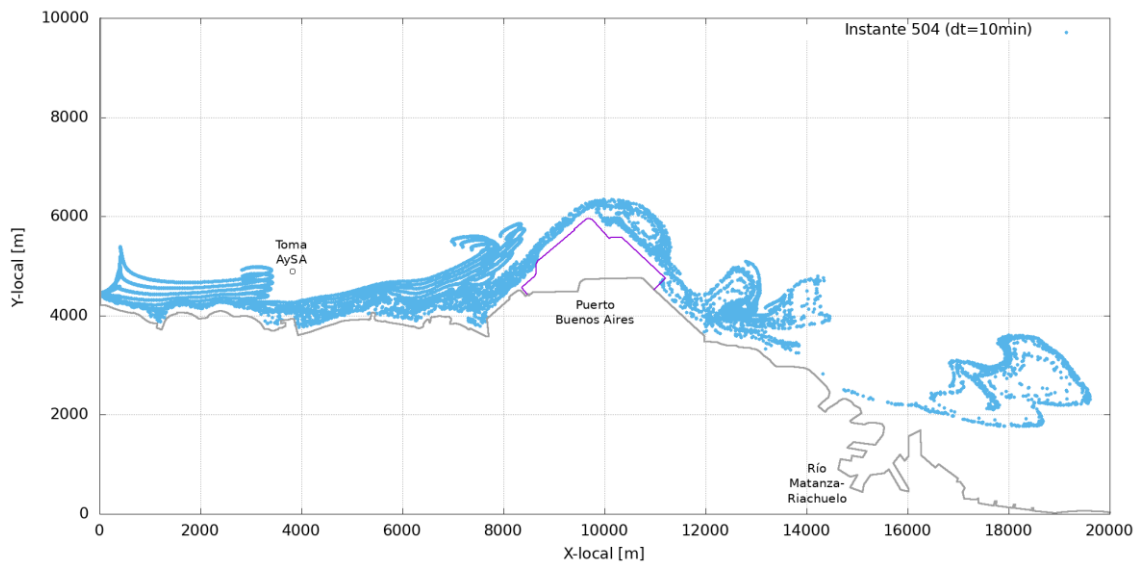
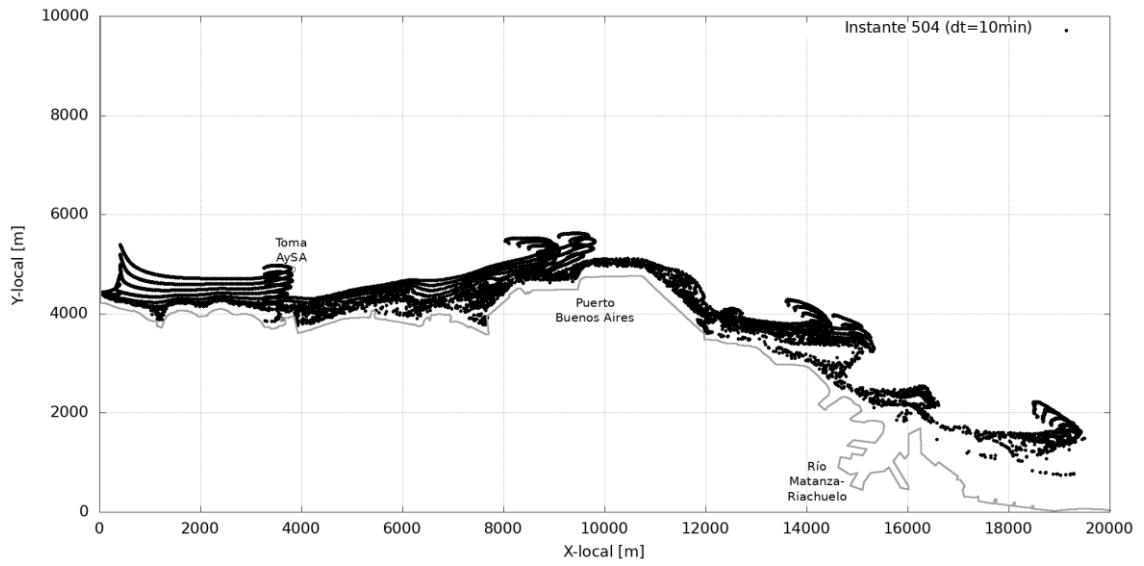
d) Día 2 – Hora 22:00



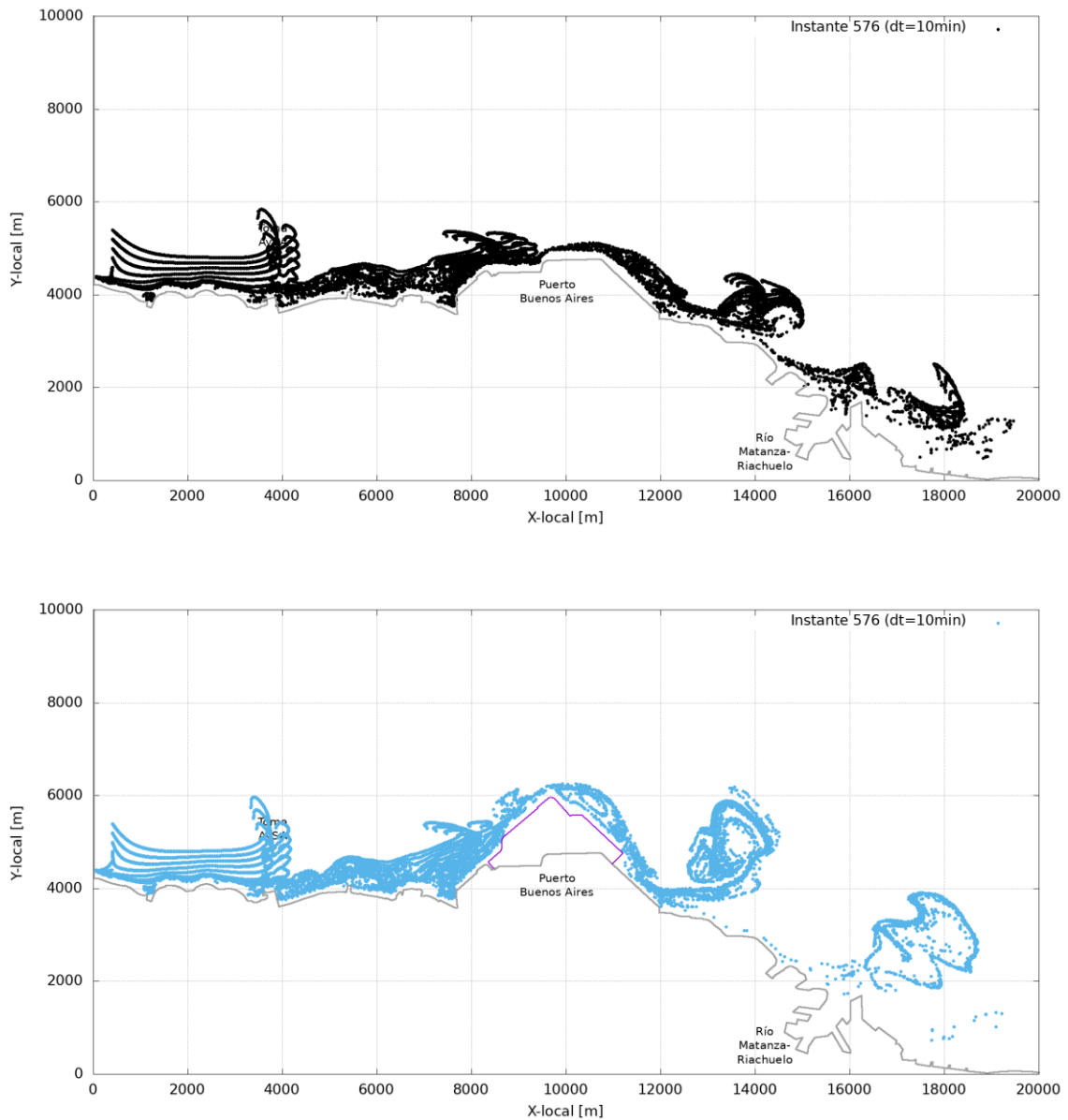
e) Día 3 – Hora 12:00



f) Día 3 – Hora 23:30



g) Día 4 – Hora 12:00



h) Día 5 – Hora 00:00

Figura 3.3. Evolución de las partículas para los Escenarios CA (arriba) y CR (abajo) en condiciones hidrometeorológicas normales.

La Figura 3.4 muestra el perfil de concentraciones relativas a lo largo de la transecta de emisión de las partículas que fue generado como representativo, en un sentido medio, de los que han surgido de campañas de monitoreo realizadas por el Servicio de Hidrografía Naval (SHN) durante los años 2008 y 2009⁴. A partir de este perfil se asignaron concentraciones a las partículas advectadas.

⁴ Menéndez, A.N. Nicolás Badano, Pablo E. García, Emilio Lecertúa., María Fernanda Lopolito, Mariano Re, Alejo Sarubbi. "Modelación matemática de la Cuenca del Matanza-Riachuelo para el estudio de alternativas de saneamiento", Informe Integrador, Comitente: Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable, junio de 2008.

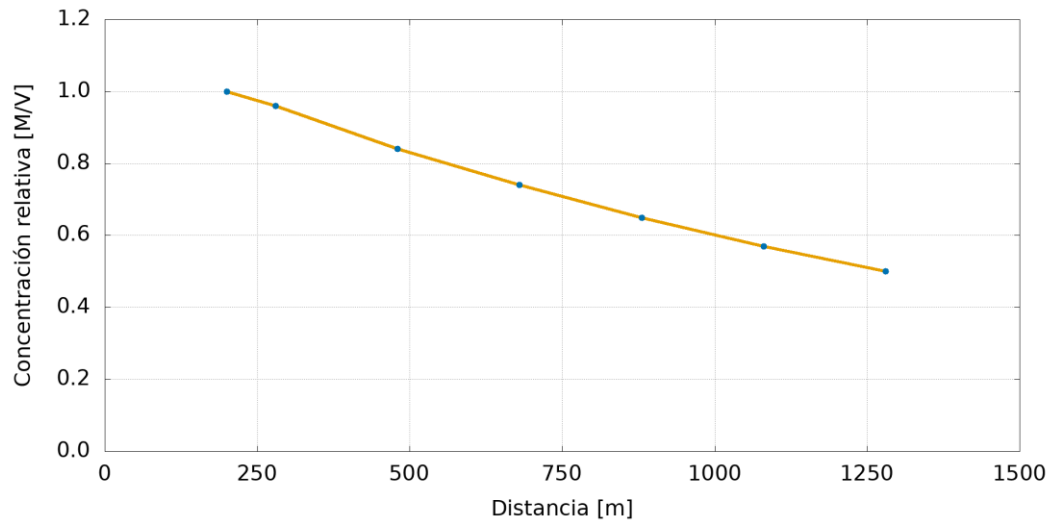


Figura 3.4. Perfil típico de concentraciones relativas.

En la Figura 3.5 se muestran las series temporales del indicador de concentración para los escenarios CA y CR. Se observa que los pulsos muestran valores pico prácticamente invariables para las dos configuraciones, refrendando cuantitativamente lo que se observó cualitativamente con el seguimiento de las trayectorias fluidas en cuanto a un impacto despreciable de la ampliación del puerto sobre la toma de agua.

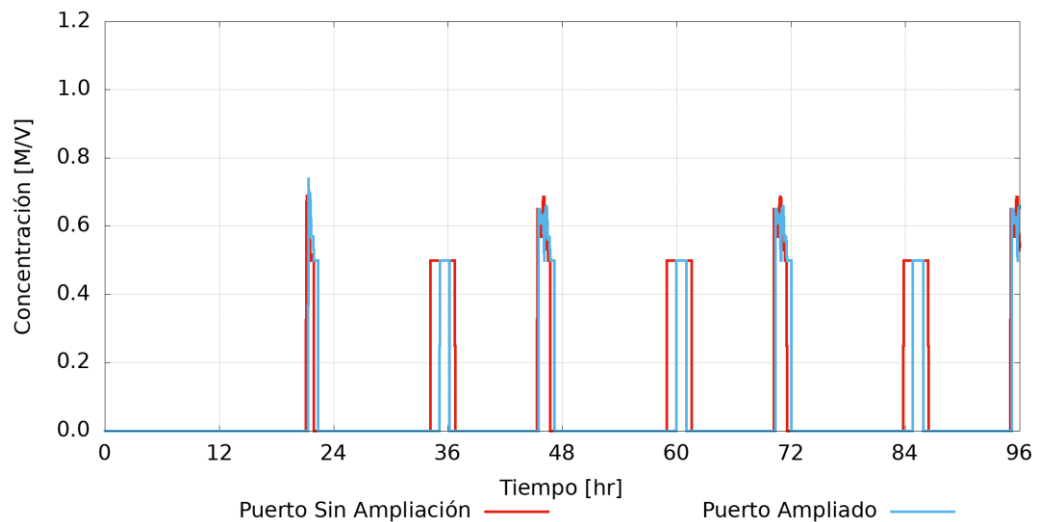
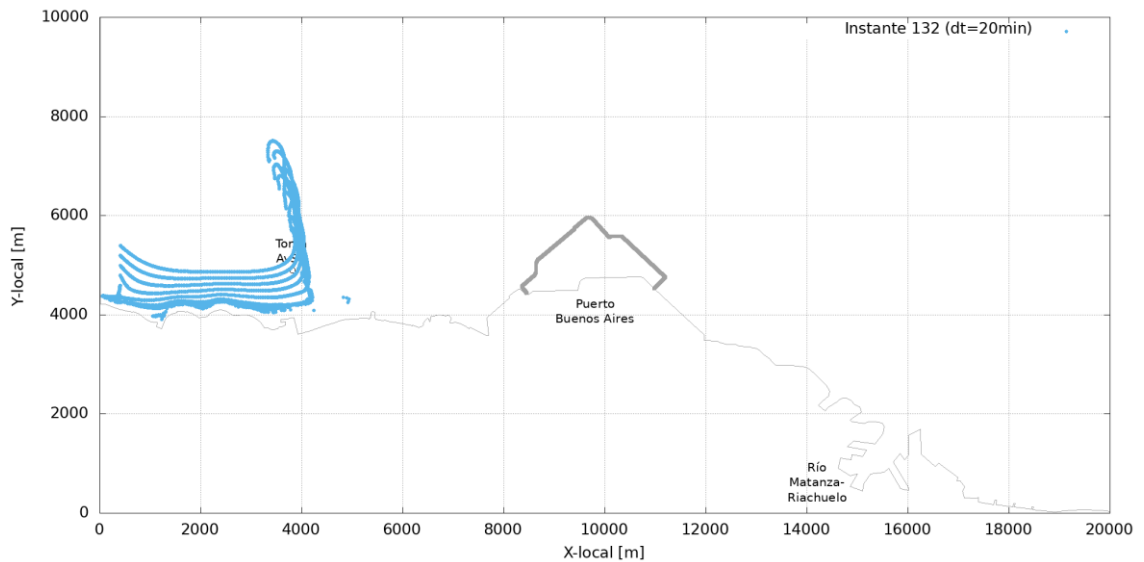
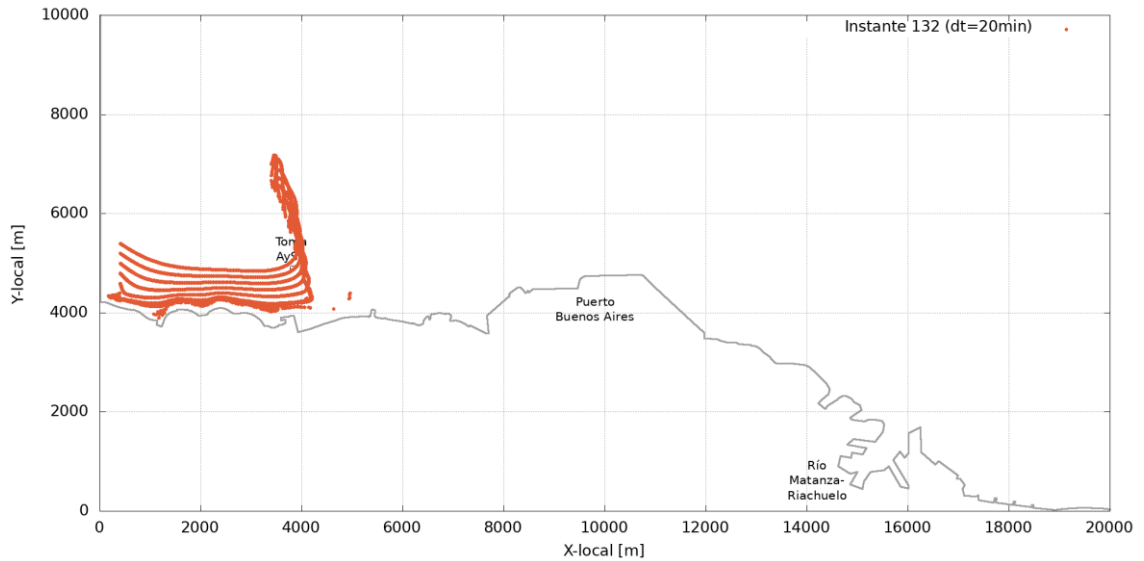


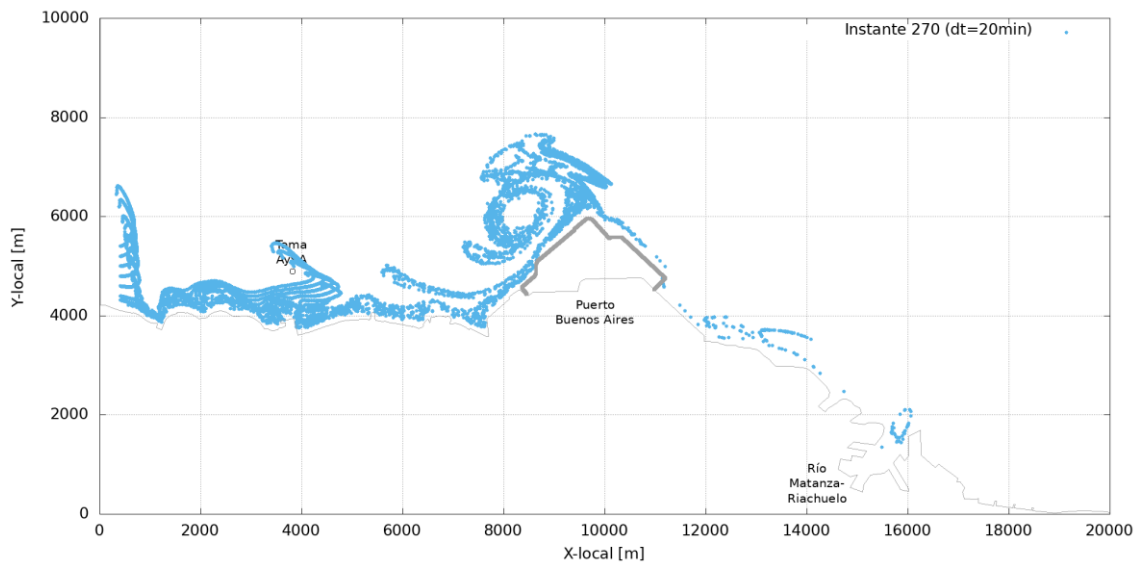
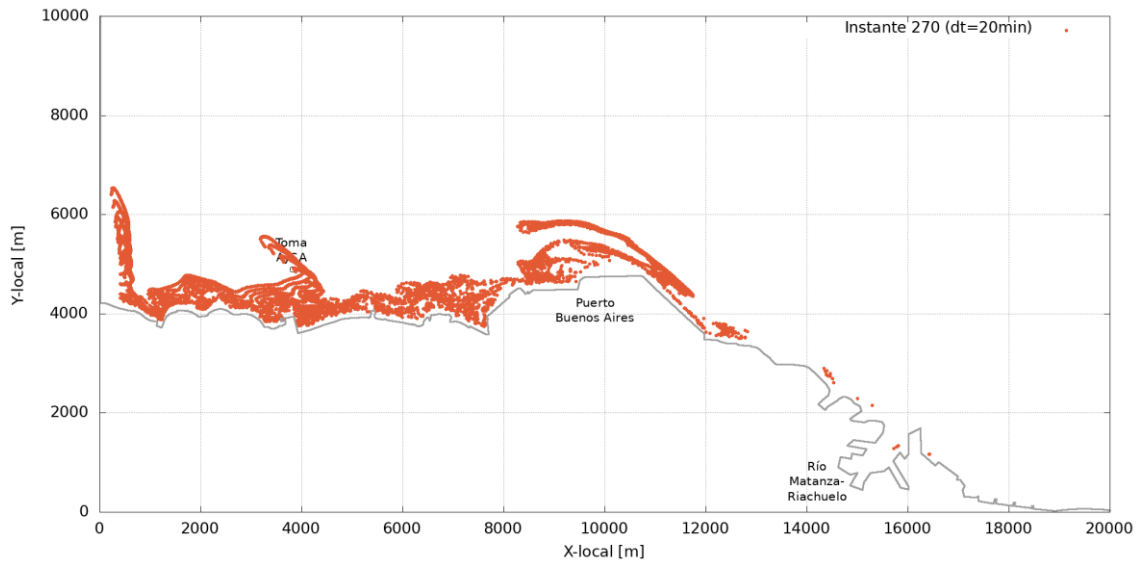
Figura 3.5. Series de concentraciones en la toma Palermo y sus alrededores para el escenario CA (serie roja) y el escenario CR (serie celeste) en condiciones hidrometeorológicas normales.

3.4 Condiciones de Sudestada

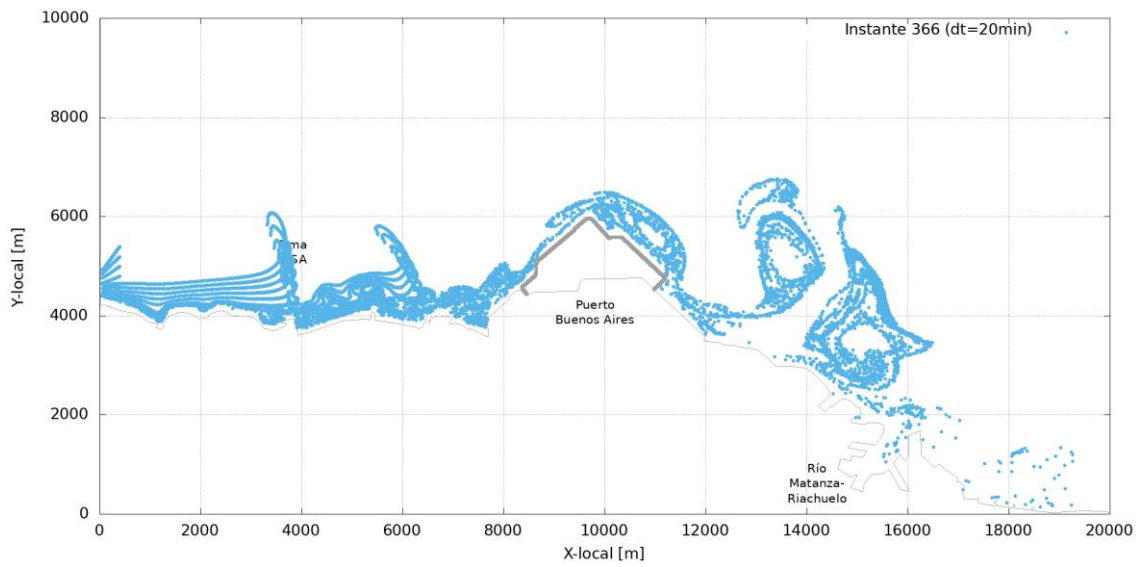
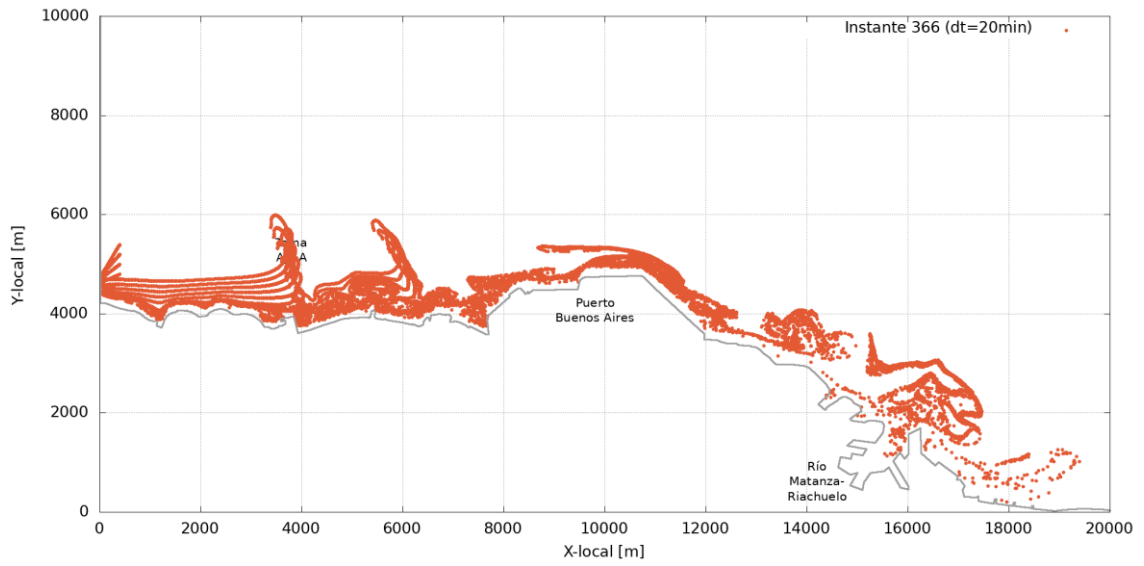
La Figura 3.6 muestra las trayectorias de las partículas emitidas por las descargas ubicadas en la transecta aguas arriba de la toma de agua Palermo de AySA para la configuración original (Escenario CA) y proyectada del puerto (Escenario CR) en condiciones de Sudestada. En la toma de agua y su zona adyacente, se observa que las trayectorias de las partículas prácticamente no se ven afectadas por la presencia del puerto.



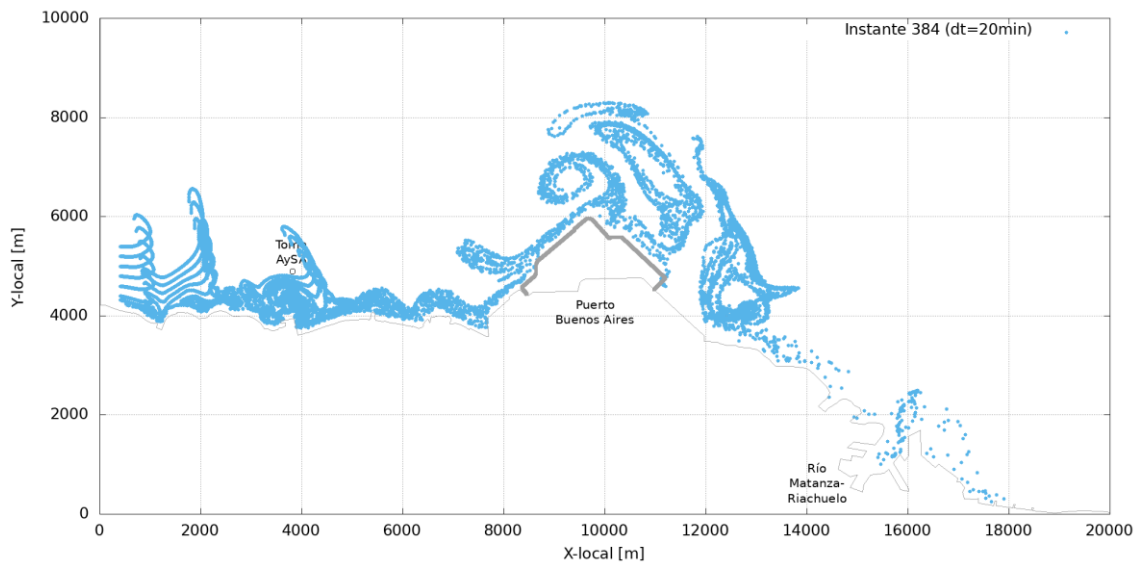
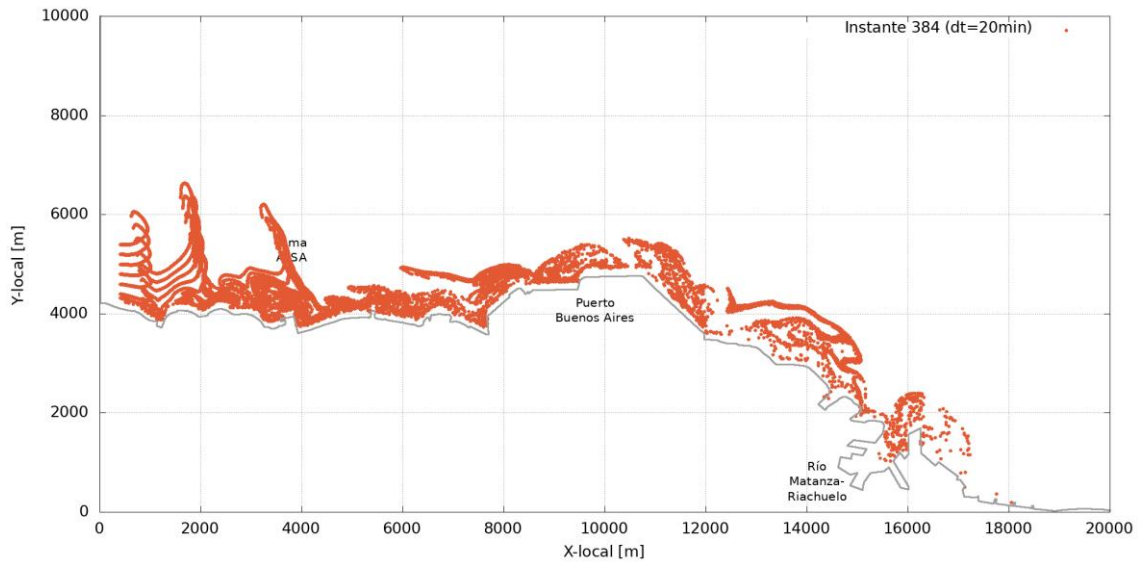
a) Día 1 – Hora 20:00



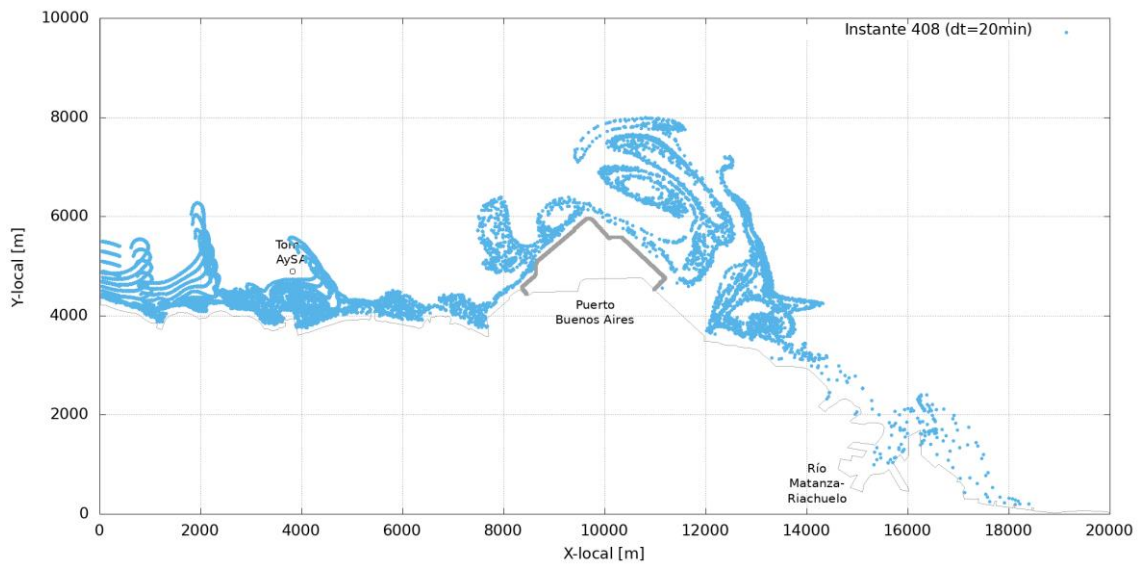
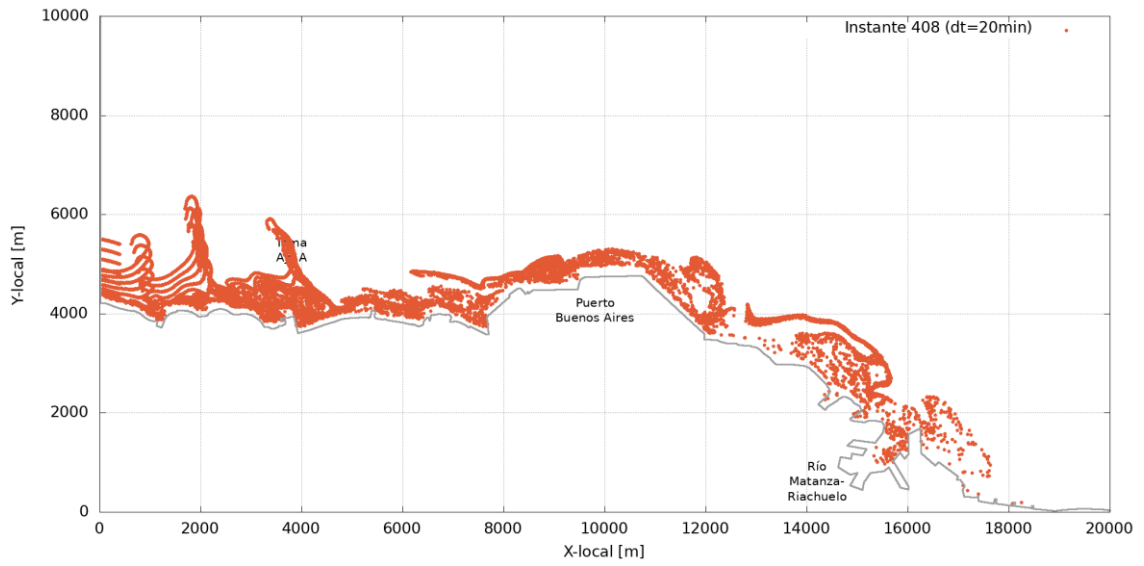
b) Día 3 – Hora 18:00



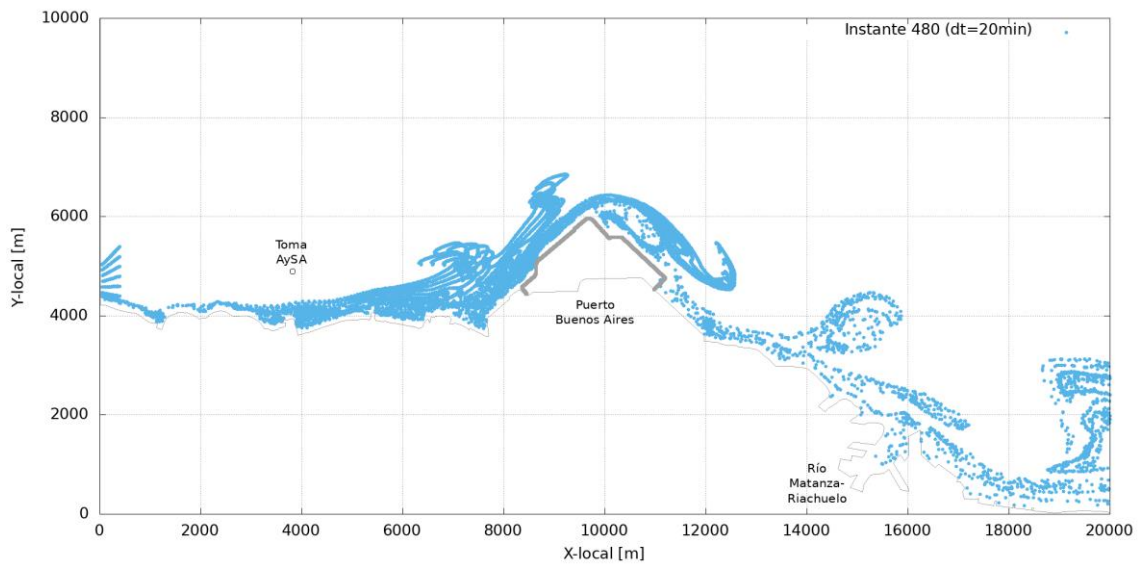
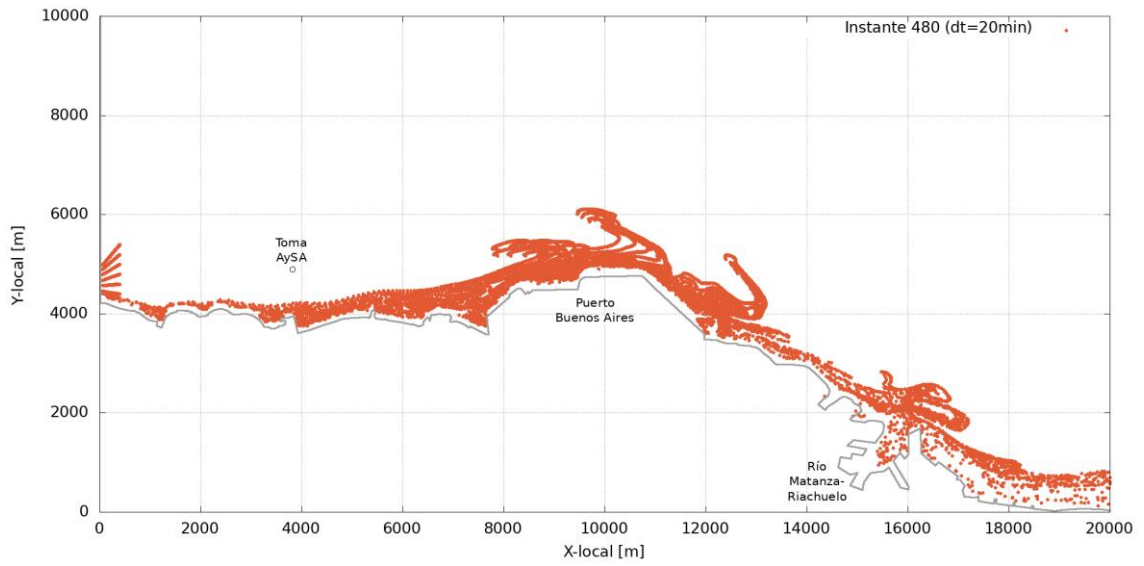
c) Día 5 – Hora 02:00



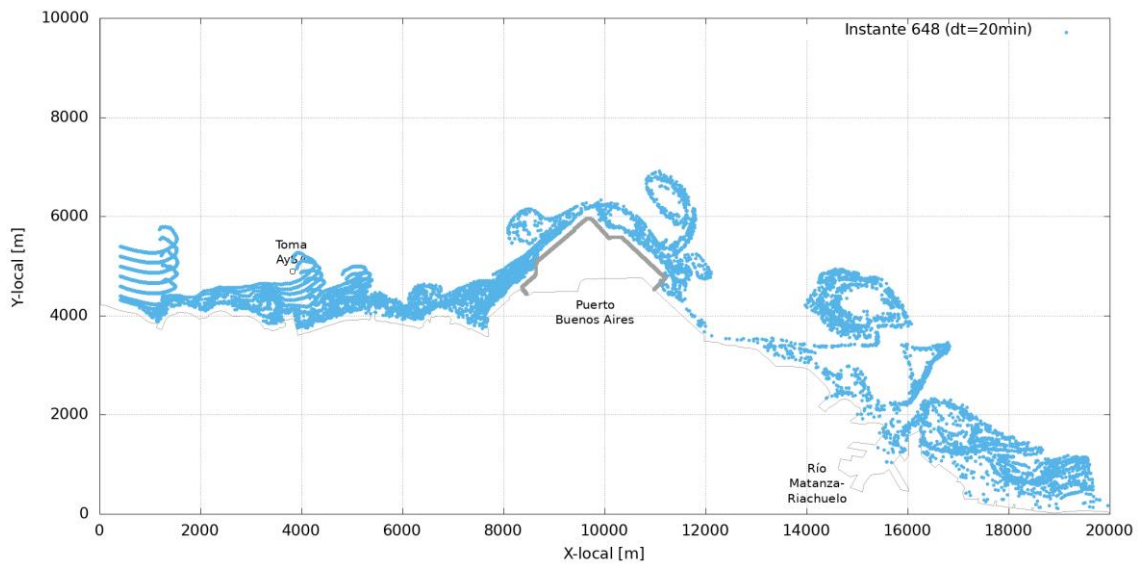
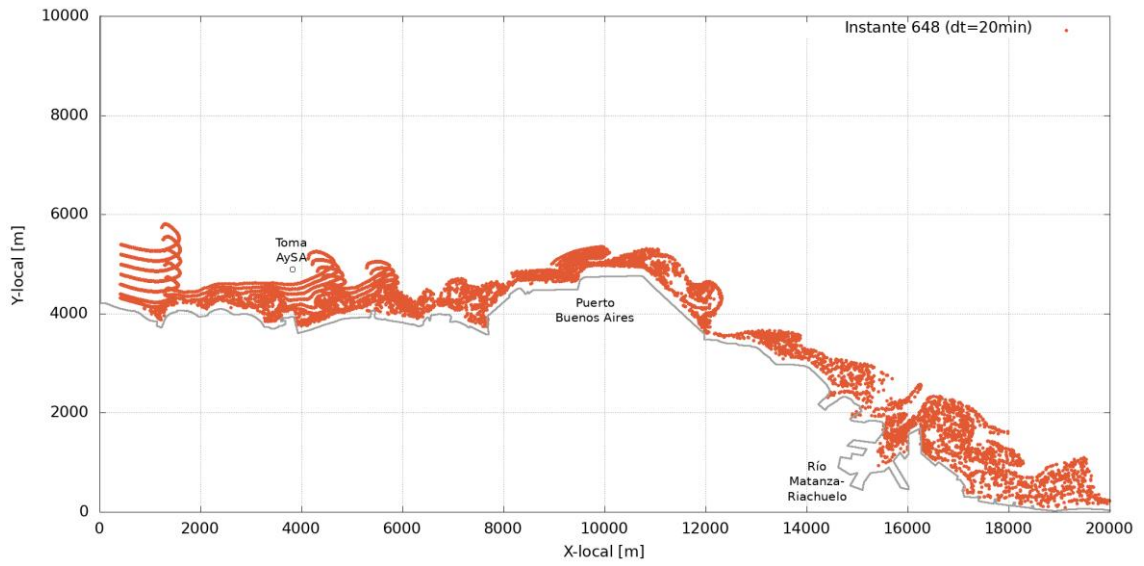
d) Día 5 – Hora 08:00



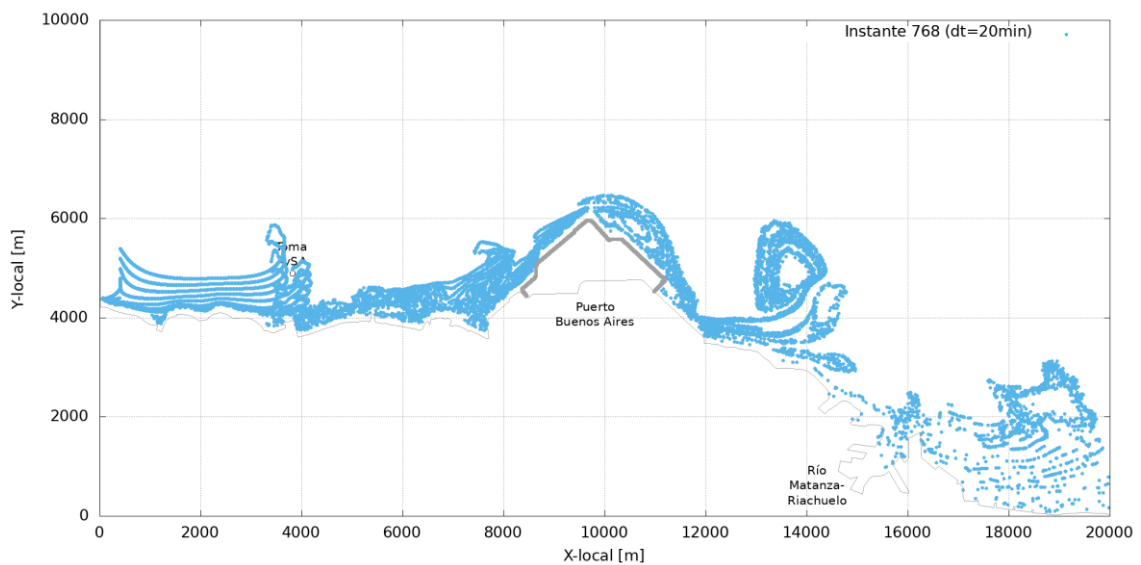
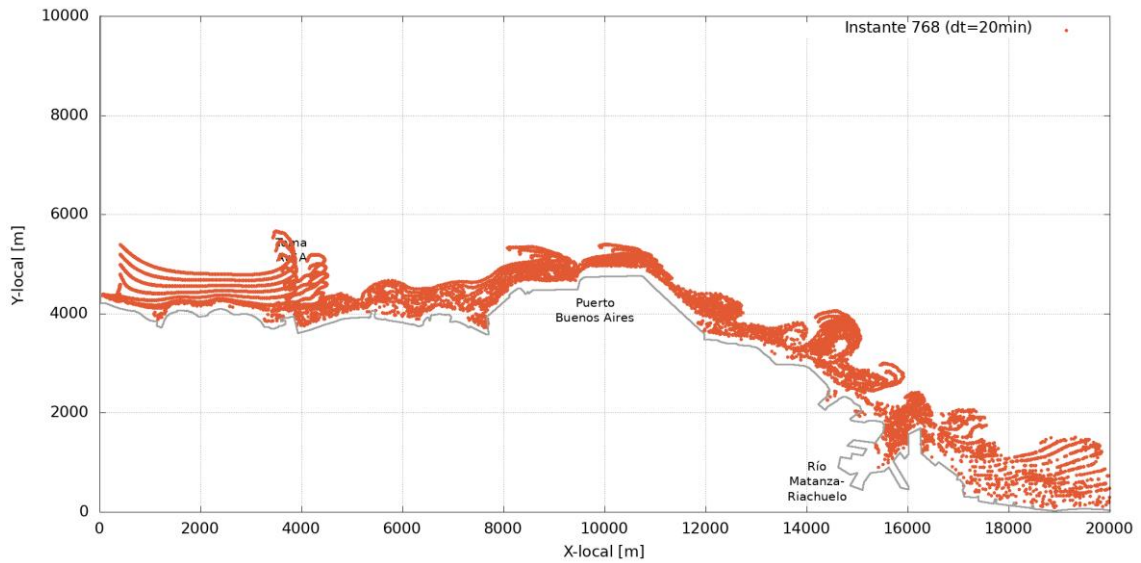
e) Día 5 – Hora 16:00



f) Día 6 – Hora 16:00



g) Día 9 – Hora 00:00



h) Día 10 – Hora 16:00

Figura 3.6. Evolución de las partículas para los Escenarios CA (arriba) y CR (abajo).

A partir del perfil de concentraciones relativas asociado a la transecta de emisión de las partículas (Figura 3.4), se obtuvieron las series temporales del indicador de concentración para los escenarios CA y CR en condiciones de Sudestada, tal como se muestra en la Figura 3.7. Se observa que los pulsos muestran valores pico similares para las dos configuraciones, indicando un impacto prácticamente nulo de la ampliación del puerto sobre la toma de agua bajo estas condiciones hidrometeorológicas.

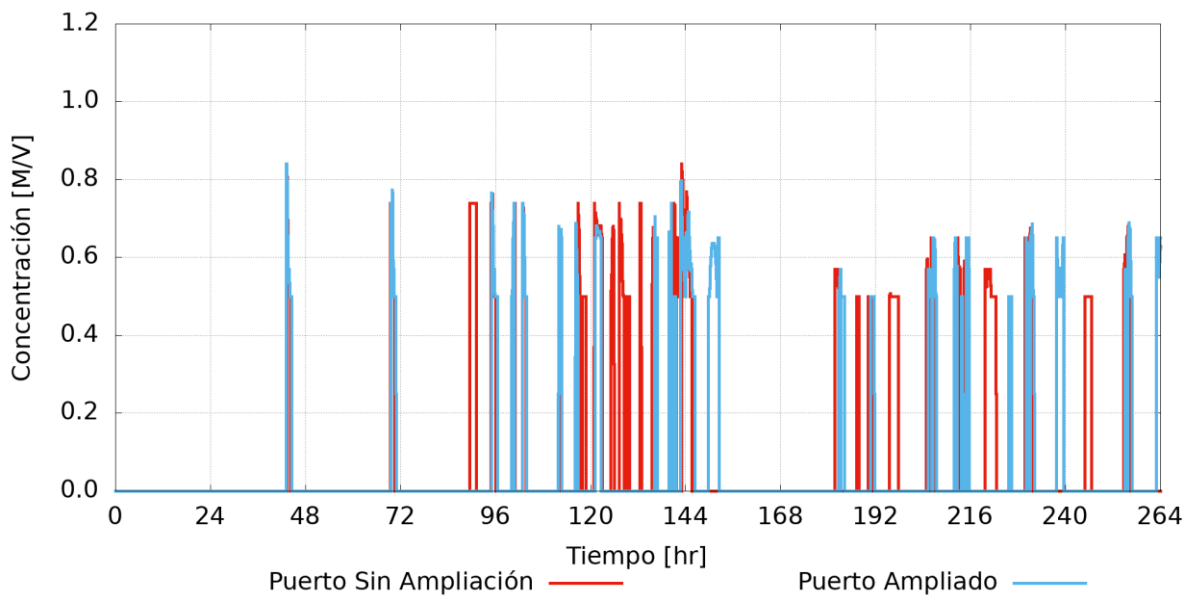
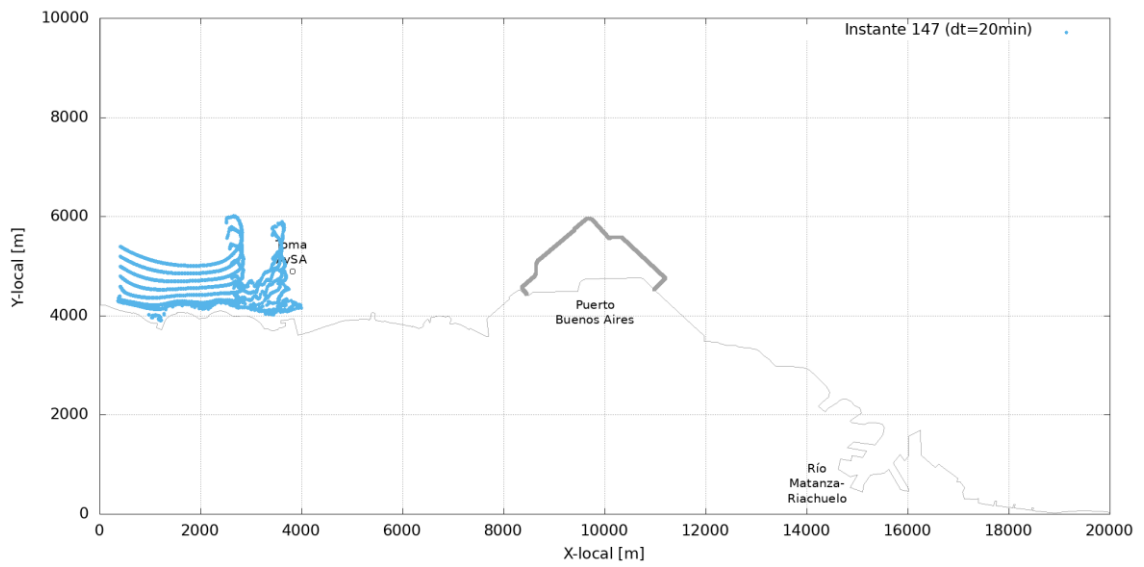
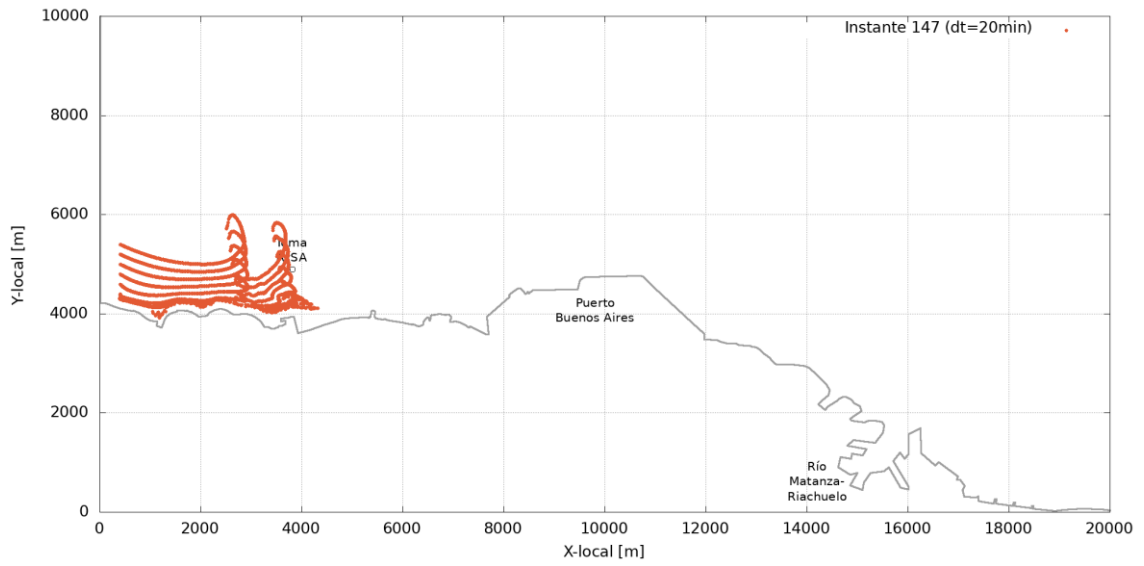


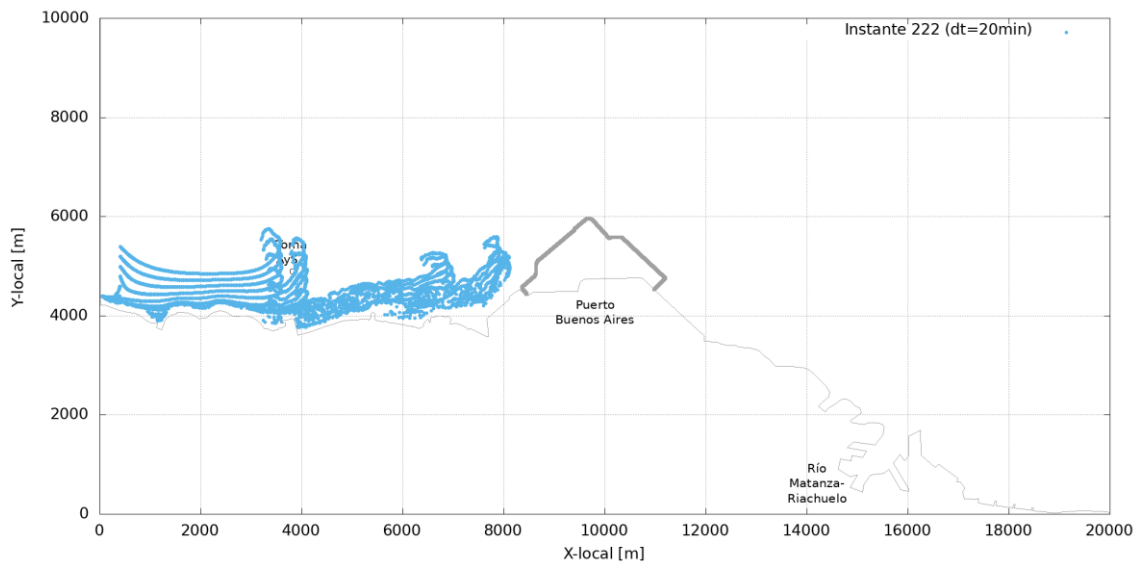
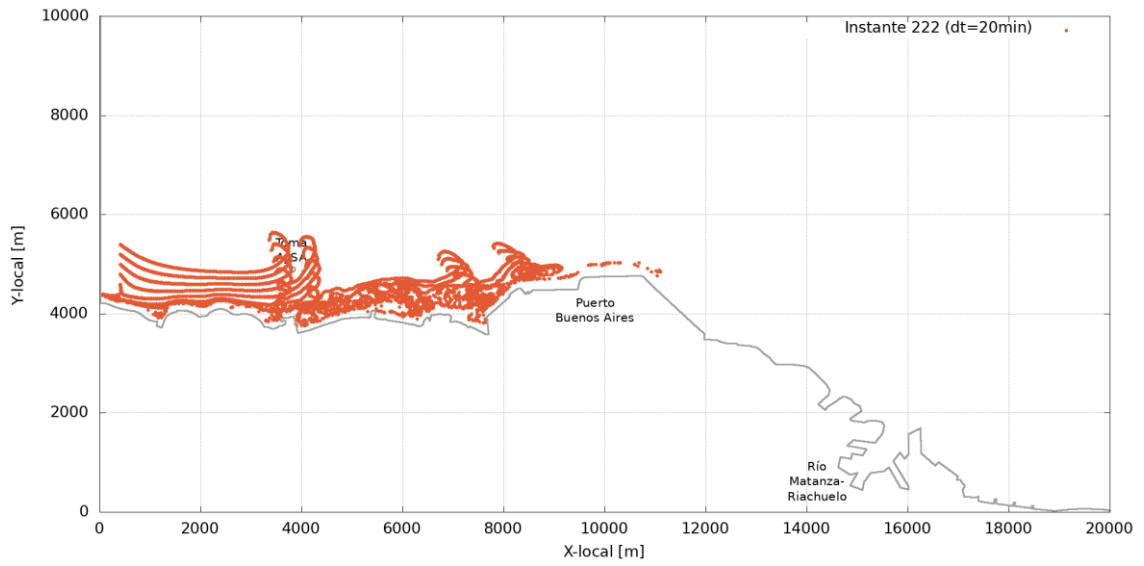
Figura 3.7. Series de concentraciones en la toma Palermo y sus alrededores para el escenario CA (serie roja) y el escenario CR (serie celeste) en condiciones de Sudestada.

3.5 Condiciones de bajante

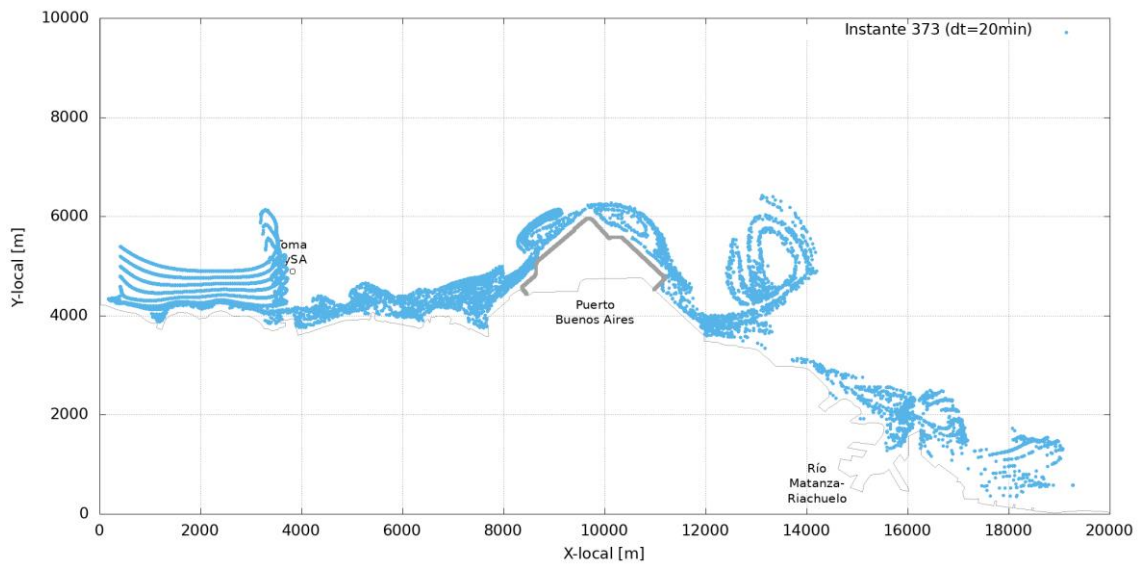
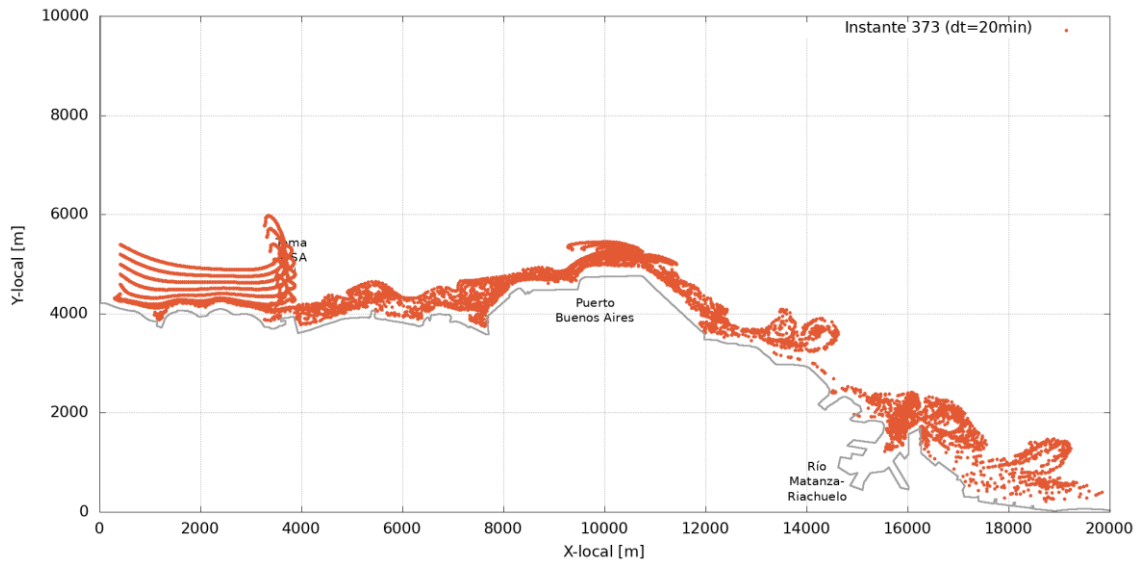
La Figura 3.8 muestra las trayectorias de las partículas emitidas por las descargas ubicadas en la transecta aguas arriba de la toma de agua Palermo de AySA para la configuración original (Escenario CA) y proyectada del puerto (Escenario CR) en condiciones de bajante. Al igual que en las dos condiciones hidrometeorológicas simuladas anteriormente, se observa que la trayectorias de las partículas que atraviesan la toma de agua no se ven afectadas por la presencia del puerto.



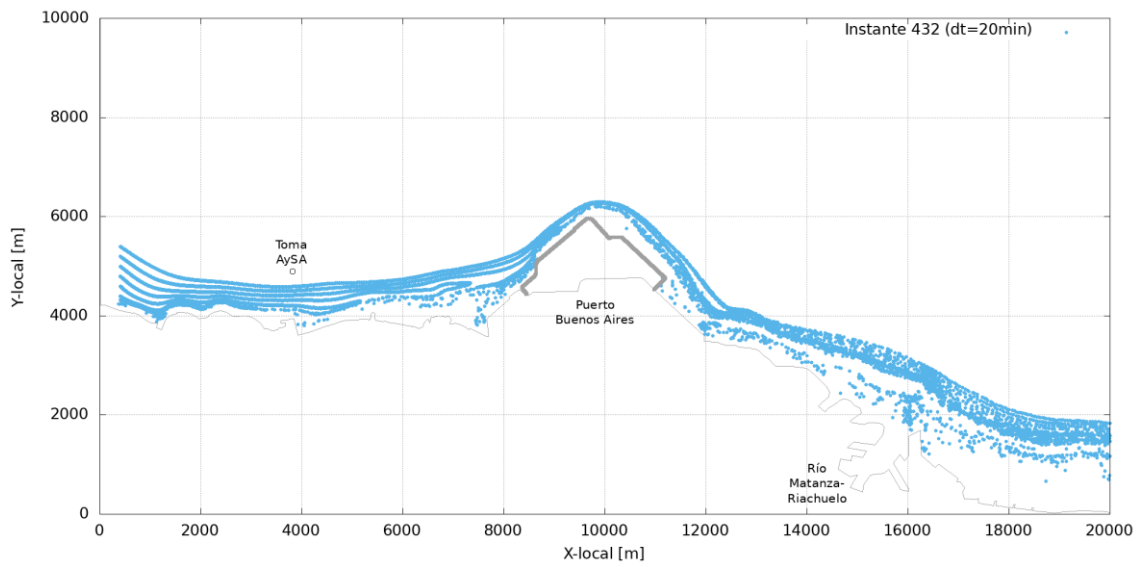
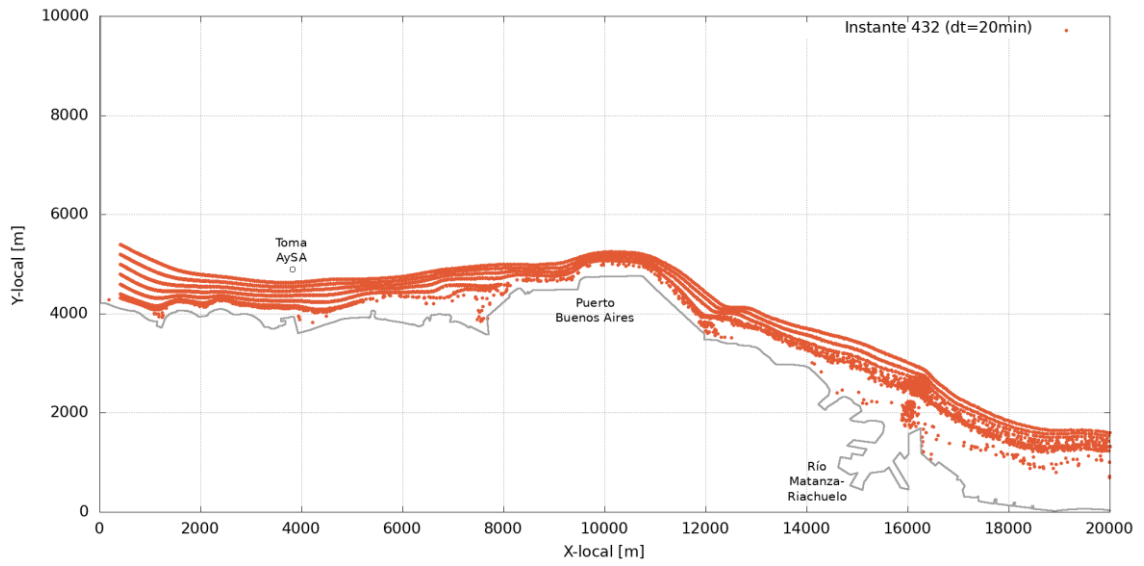
a) Día 2 – Hora 01:00



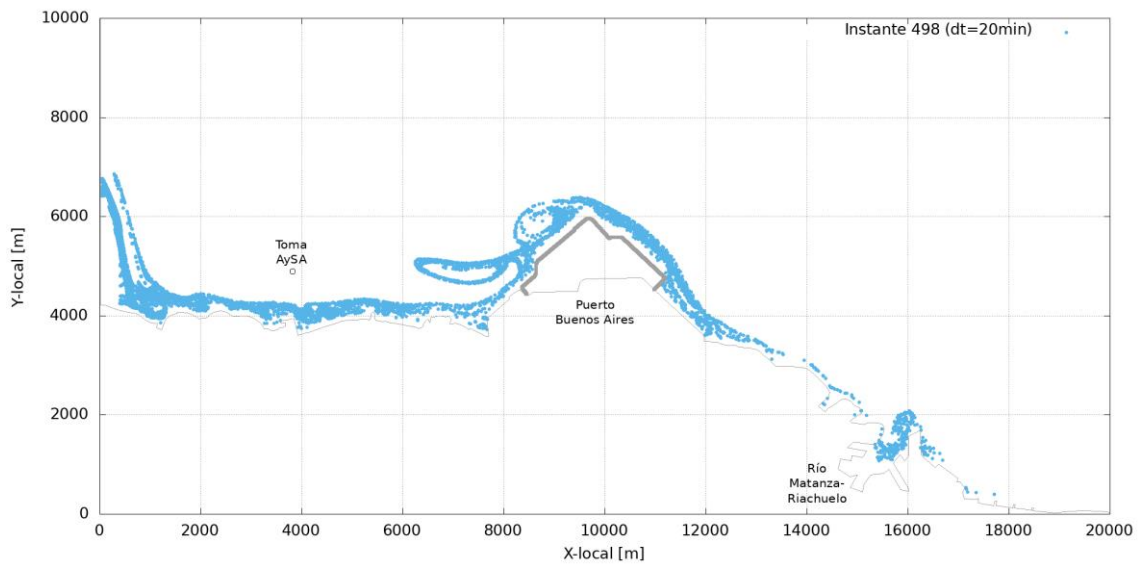
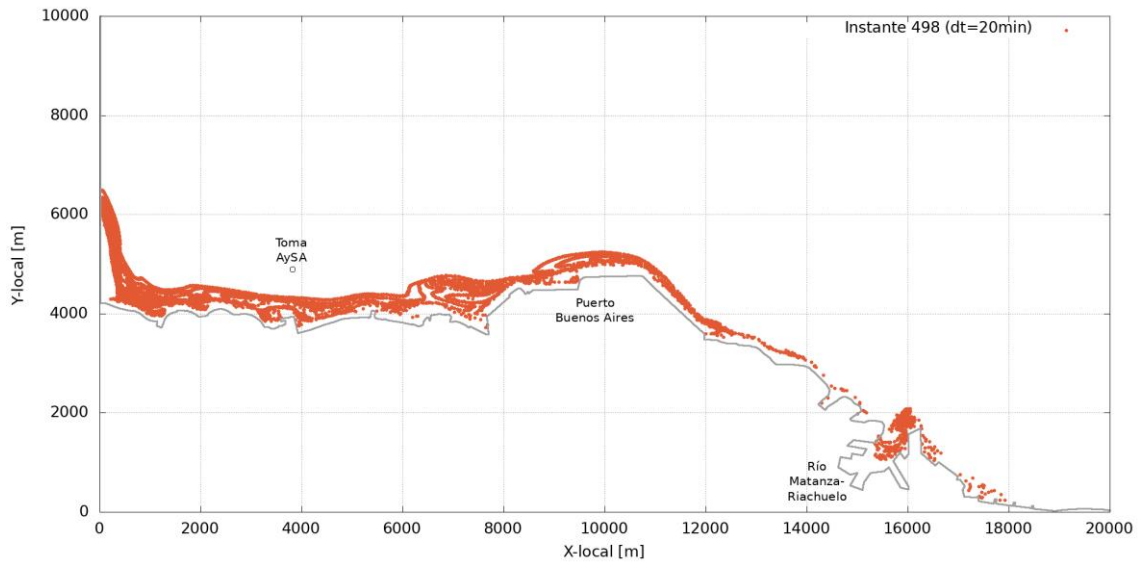
b) Día 3 – Hora 02:00



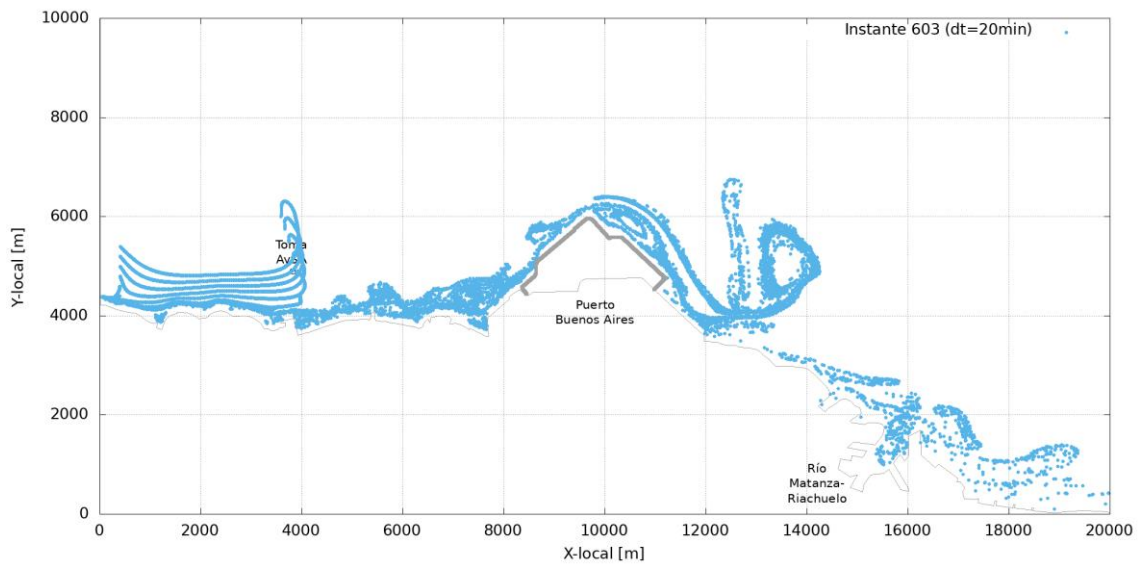
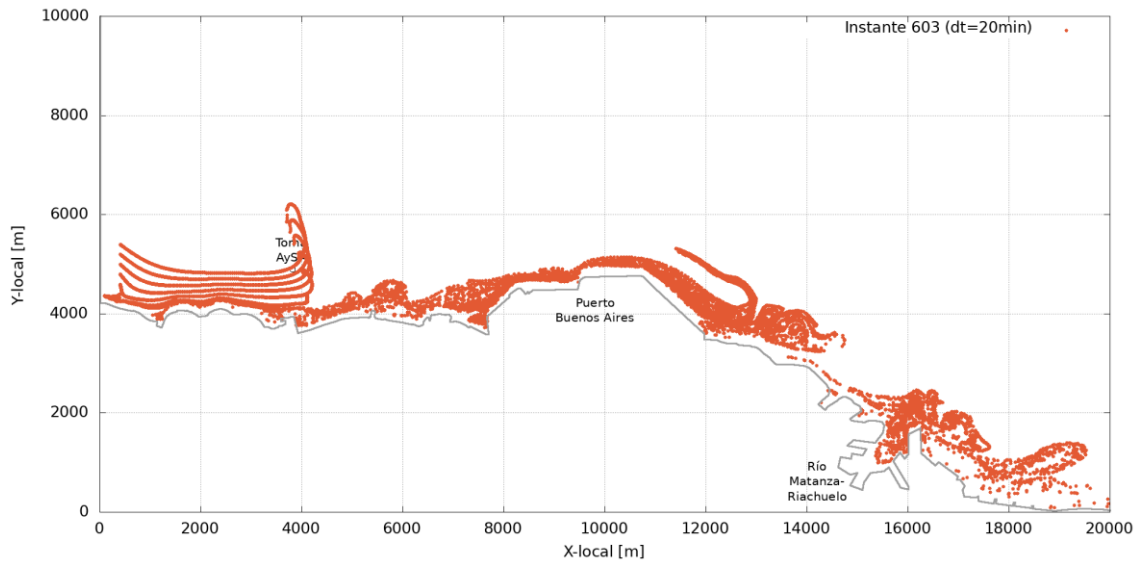
c) Día 5 – Hora 04:20



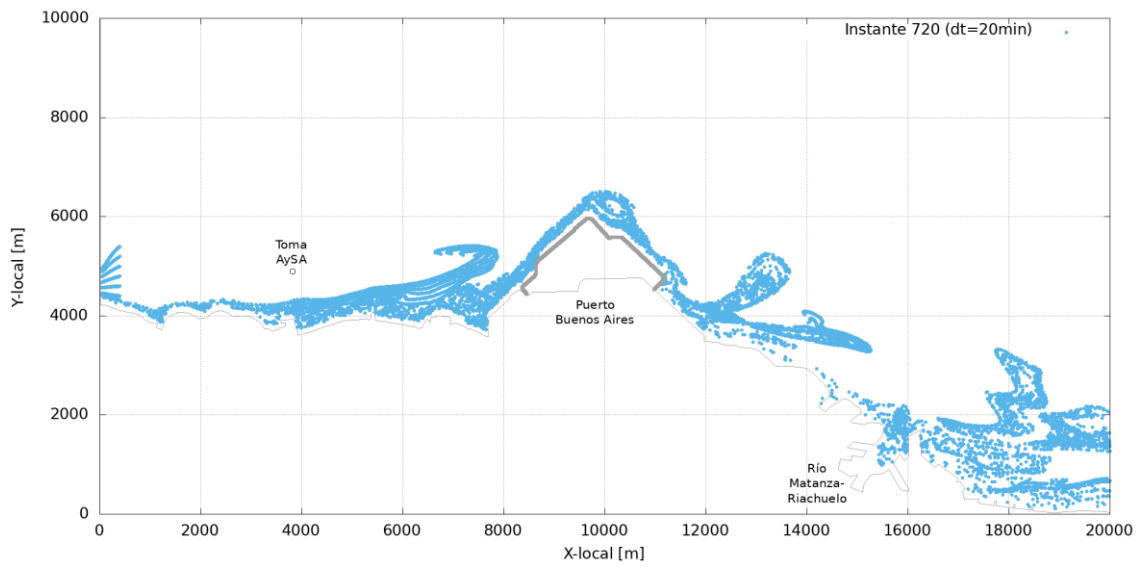
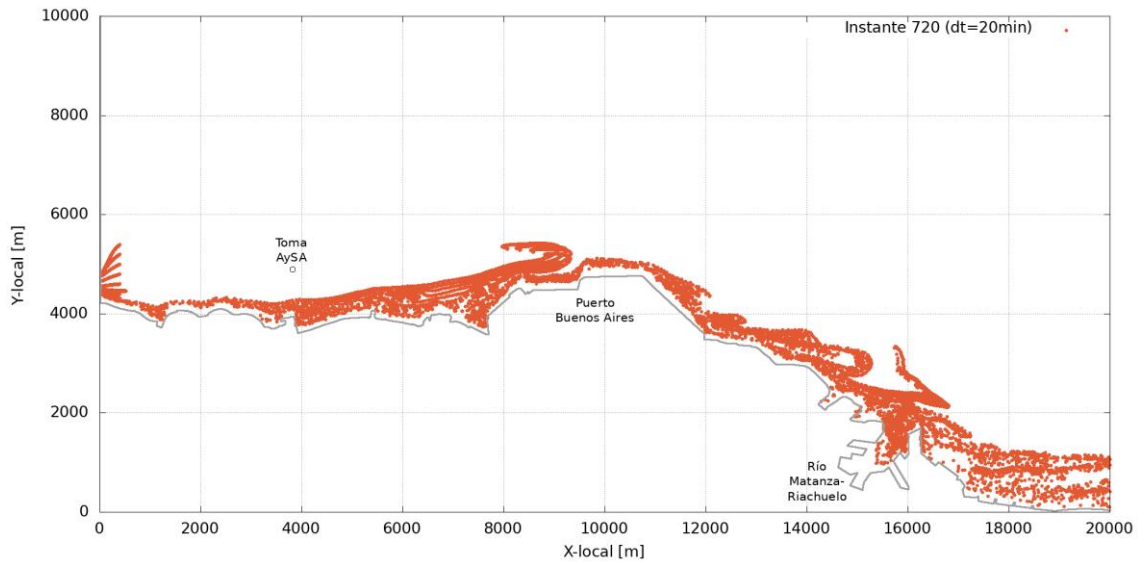
d) Día 6 – Hora 00:00



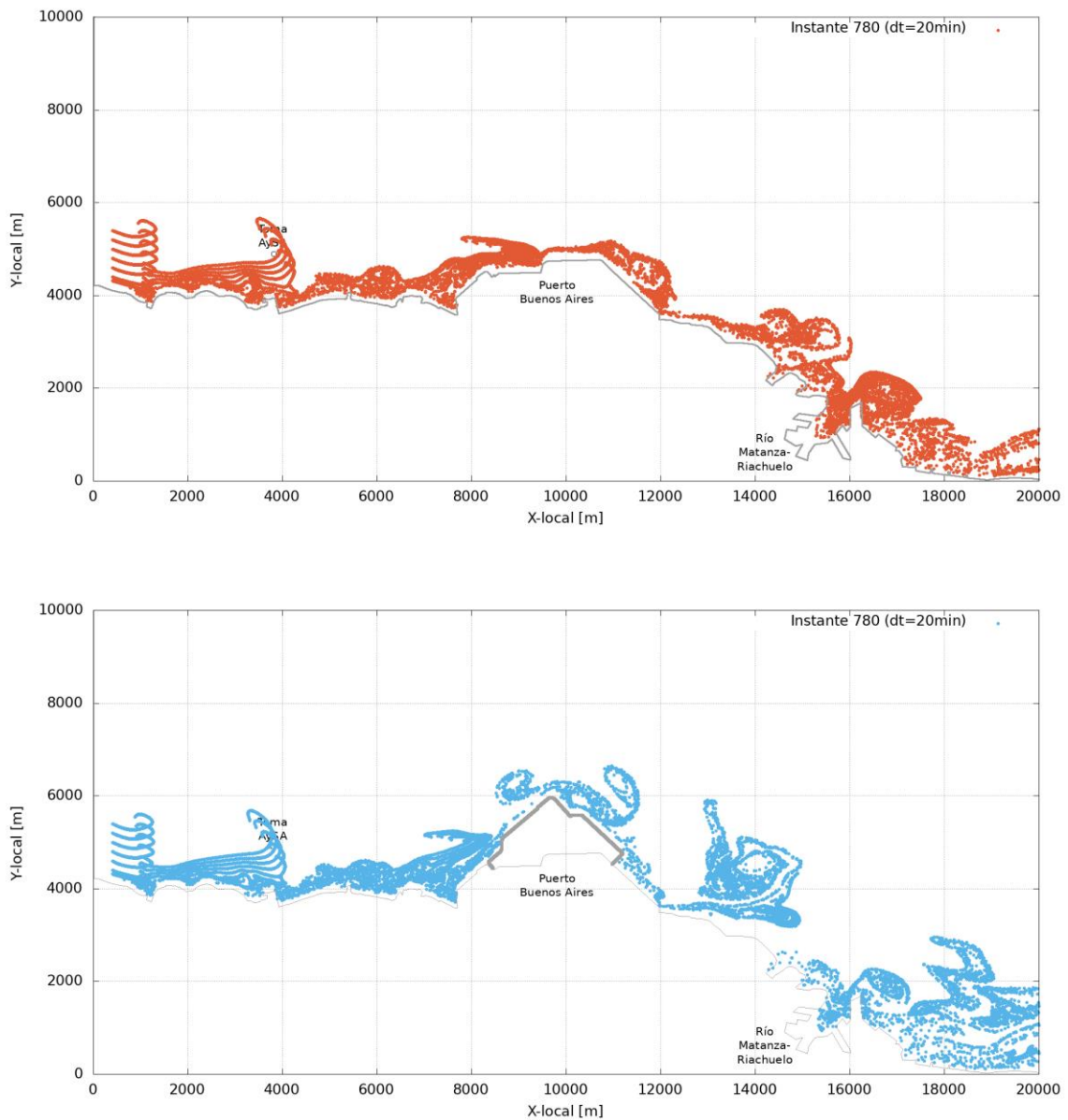
e) Día 6 – Hora 22:00



f) Día 8 – Hora 09:00



g) Día 10 – Hora 00:00



h) Día 10 – Hora 20:00

Figura 3.8. Evolución de las partículas para los Escenarios CA (arriba) y CR (abajo) en condiciones hidrometeorológicas de bajante.

En la Figura 3.9 se muestran las series temporales del indicador de concentración para los escenarios CA y CR. Se observa que los pulsos muestran valores pico similares para las dos configuraciones, confirmando cuantitativamente lo que se observó cualitativamente con el seguimiento de las trayectorias fluidas en cuanto a un impacto muy poco significativo de la ampliación del puerto sobre la toma de agua.

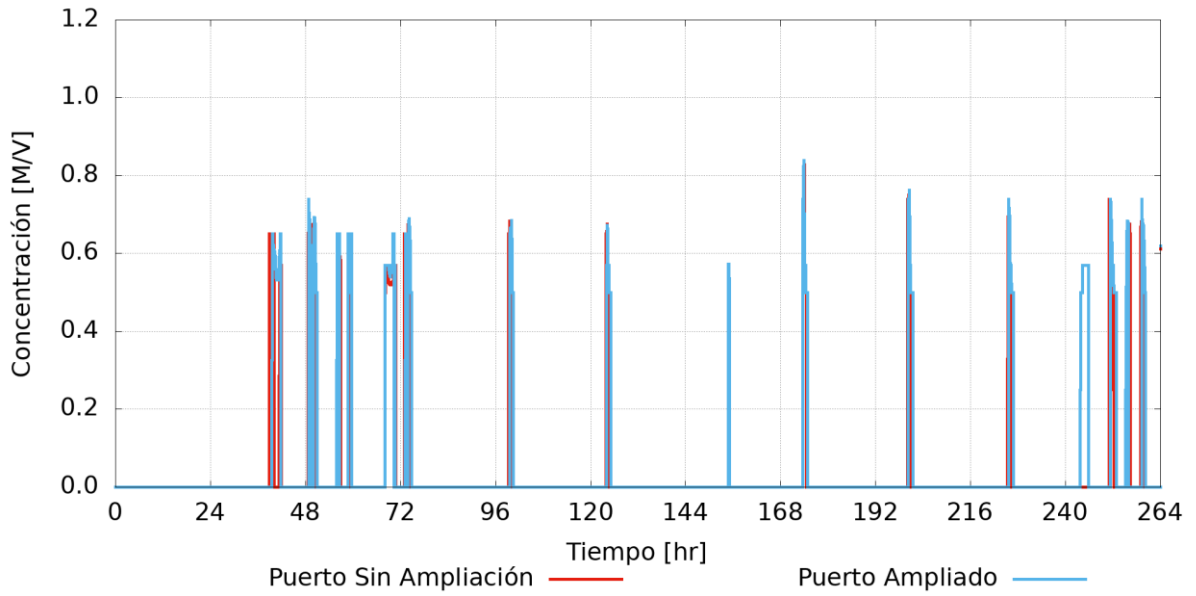


Figura 3.9. Series de concentraciones en la toma Palermo y sus alrededores para el escenario CA (serie roja) y el escenario CR (serie celeste) en condiciones de bajante.

4 CONCLUSIONES

A través de un indicador cualitativo y otro cuantitativo, y bajo diferentes escenarios hidrometeorológicos, se ha mostrado que la ampliación del puerto de Buenos Aires no producirá impacto en las condiciones de calidad del agua en torno a la toma de agua de AySA.