



UTA.BA

FACULTAD
REGIONAL
BUENOS AIRES

TRABAJO FINAL INTEGRADOR

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA AMBIENTAL

Título:

“Diseño de un sistema de tratamiento para los sedimentos dragados de la dársena de un astillero en el Puerto de Buenos Aires”

Autora: Ana Lia Pierangeli

Buenos Aires – noviembre 2023

ÍNDICE

<u>RESUMEN EJECUTIVO</u>	<u>3</u>
<u>1. INTRODUCCIÓN</u>	<u>5</u>
<u>Descripción del problema</u>	<u>5</u>
<u>Objetivos</u>	<u>6</u>
<u>2. MARCO TEÓRICO</u>	<u>7</u>
<u>3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL SITIO</u>	<u>12</u>
<u>3.1. Caracterización ambiental general del entorno portuario</u>	<u>12</u>
<u>Clima</u>	<u>12</u>
<u>Geomorfología</u>	<u>14</u>
<u>Aguas Subterráneas</u>	<u>16</u>
<u>Aguas superficiales</u>	<u>17</u>
<u>Sedimentología</u>	<u>17</u>
<u>Medio biótico</u>	<u>18</u>
<u>Entorno del predio del astillero</u>	<u>19</u>
<u>3.2. Caracterización ambiental del sitio a dragar.</u>	<u>20</u>
<u>Volumen a dragar</u>	<u>20</u>
<u>Cantidad y ubicación de sitios de muestreo se sedimentos y agua</u>	<u>21</u>
<u>Metodología de Muestreo</u>	<u>23</u>
<u>Resultados de calidad de sedimentos</u>	<u>23</u>
<u>Resultados de análisis de calidad de agua</u>	<u>27</u>
<u>4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y REMEDIACIÓN</u>	<u>28</u>
<u>Análisis multicriterio</u>	<u>30</u>
<u>5. DESARROLLO DEL PROYECTO/ MEMORIA TÉCNICA</u>	<u>37</u>
<u>Introducción</u>	<u>37</u>
<u>Selección de equipo de dragado</u>	<u>38</u>
<u>Transporte del material dragado al sitio de tratamiento</u>	<u>39</u>
<u>Recinto de separación física</u>	<u>40</u>
<u>Vuelco de agua</u>	<u>42</u>
<u>Tratamiento biológico del sedimento. Instalación de eliminación confinada en zona costera contigua.</u>	<u>42</u>
<u>Biopilas</u>	<u>42</u>
<u>Disposición del material en dársena contigua</u>	<u>43</u>
<u>6. PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL</u>	<u>44</u>
<u>6.1 Programa de monitoreo durante las actividades de dragado</u>	<u>44</u>
<u>6.2 Monitoreo del sistema de tratamiento</u>	<u>47</u>
<u>6.3 Monitoreo posterior al dragado</u>	<u>48</u>
<u>7. CONCLUSIONES</u>	<u>50</u>
<u>BIBLIOGRAFÍA</u>	<u>51</u>

RESUMEN EJECUTIVO

Las actividades de dragado en zonas portuarias requieren de medidas específicas de gestión ambiental, tendientes a preservar la calidad del agua y los ecosistemas acuáticos.

El presente trabajo tiene por objeto **desarrollar una propuesta de tratamiento para los sedimentos dragados en la dársena donde se ubica el *syncrolift* (elevador de buques) de un astillero en el Puerto de Buenos Aires**. Para ello, se evalúan distintas estrategias de tratamiento de los sedimentos producidos en las operaciones de dragado en la dársena

Para la evaluación, manejo y tratamiento de los sedimentos contaminados existen distintas estrategias basadas en buenas prácticas en la materia, que se encuentran detalladas en procedimientos internacionales. Todas ellas coinciden en que, de acuerdo con las concentraciones de contaminantes halladas en los sedimentos se proceda según distintas opciones de remoción y disposición, que van desde el vuelco del material en aguas abiertas, al tratamiento *ex situ* o disposición confinada en tierra, en los casos de mayor contaminación.

En particular en este caso, se utilizará como norma de referencia la Resolución del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible (OPDS) de la Provincia de Buenos Aires N° 263/2019 “Normas y Procedimiento para la Declaración de Impacto Ambiental de Proyectos de Dragado en Puertos y Canales de Acceso”, en adelante Res. OPDS. Cabe aclarar que, si bien la norma no es de aplicación en la jurisdicción del Puerto de Buenos Aires, se utiliza para este estudio dado que no existe una norma específica de dragado para este territorio, resultando la de mayor cercanía y similitud en cuanto a características geográficas.

En la Introducción se presenta una Descripción del problema, el cual consiste en la necesidad del astillero de dragar el fondo de la dársena donde se ubica el elevador de embarcaciones, de manera de facilitar su descenso a mayor profundidad para permitir el acceso de buques de mayor calado.

En el Capítulo de Caracterización ambiental, se presenta información relativa a la cantidad y calidad de los sedimentos, para luego poder clasificar los posibles destinos del material a dragar, de acuerdo con la concentración de contaminantes hallada.

Las muestras de sedimentos del sitio *syncrolift* analizadas en este trabajo, presentan concentraciones de Hidrocarburos Totales de Petróleo -HTP- que superan los valores umbrales de la Res. OPDS. Por lo tanto, las alternativas de tratamiento a analizar, apuntan a la gestión ambiental del sedimento teniendo en cuenta estos compuestos de interés.

Según los resultados del muestreo, el sedimento encuadra bajo la Categoría C, definido como “aquel material que puede provocar un impacto ambiental significativo sobre el área de influencia y/o la zona de descarga.” En tal sentido, se deberá aplicar una tecnología de tratamiento previa a su descarga y se descarta como opción su vuelco en aguas abiertas. Asimismo, la Res. OPDS establece que, con carácter general, se deberá realizar la

evaluación de posibles usos de los sedimentos, para todas las categorías de material, privilegiando cualquier alternativa que desde el punto de vista técnico y económico resulte sustentable, por sobre la disposición libre en agua. En este mismo sentido, se indica que los materiales dragados podrán ser utilizados como material de relleno y perfilación de costas fluviales y marítimas.

En el Capítulo de Análisis de alternativas, se evalúa la aplicación de tecnologías de tratamiento y disposición final del sedimento, considerando su encuadre en la norma, y las restricciones y consideraciones planteadas respecto del sitio de intervención.

Como resultado del análisis realizado, **en el Capítulo Desarrollo del Proyecto, se presenta una memoria técnica del sistema de tratamiento basado en la extracción del sedimento y su tratamiento biológico, previo a su descarga en un recinto en una dársena en desuso del astillero.**

El sistema de tratamiento consiste en extraer los sedimentos de la dársena, sin retirar el elevador de buques (*syncrolift*), y derivarlos a través de un conducto hacia un sistema de separación física de fases (agua y sedimento). A continuación, se deriva el sedimento hacia las biopilas para la reducción de la concentración de hidrocarburos, hasta alcanzar los niveles que permitan su descarga en el río. (Figura 1).



Figura 1. Esquema general del sistema de tratamiento. Fuente: elaboración propia.

Por último, se presentan medidas de control y seguimiento del proceso, sistematizadas mediante un Plan de Gestión Ambiental.

1. INTRODUCCIÓN

Descripción del problema

El astillero tiene como principales funciones la reparación, conversión y construcción naval. Se ubica en el Puerto de Buenos Aires en la zona de la desembocadura del Riachuelo en el Río de la Plata (Figura 2).

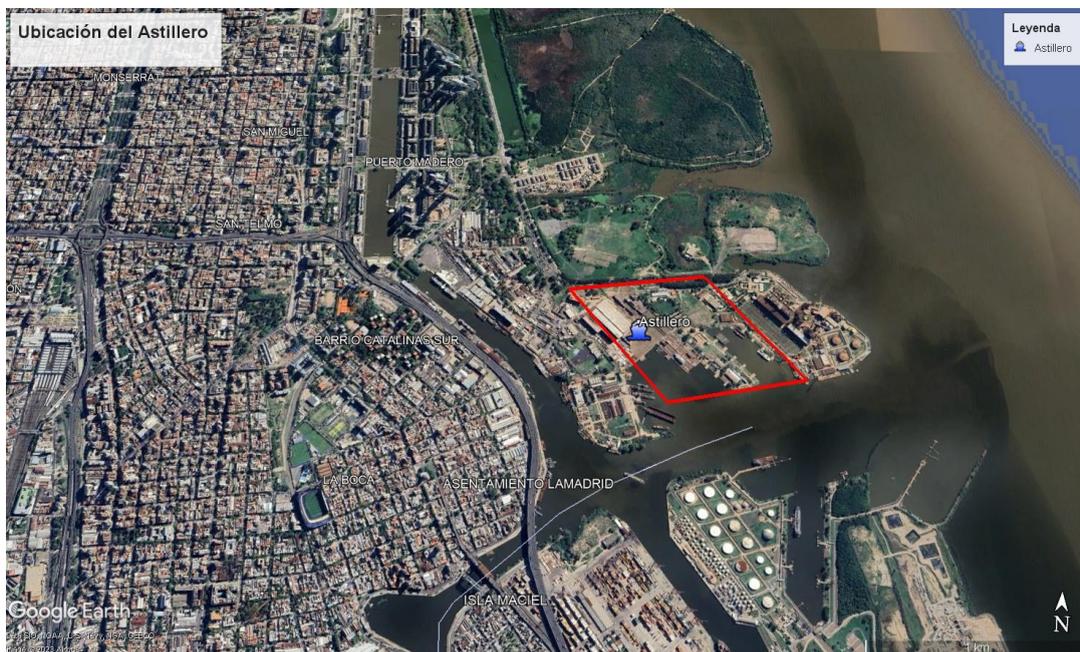


Figura 2. Ubicación del astillero. Fuente: elaboración propia.

El *syncrolift* es un elevador de buques de grandes dimensiones, instalado sobre una dársena, que permite el traslado de las embarcaciones al interior del astillero, a fin de realizar tareas de reparación y mantenimiento. Su buen funcionamiento resulta necesario para la operación normal del astillero (Figura 3).



Figura 3. Vista del *syncrolift* (elevado sobre el nivel del agua). Fuente: elaboración propia.

Al momento de realización de este estudio el *syncrolift* se encuentra con una capacidad operativa limitada por acumulación de sedimentos producto de la depositación natural de sedimentos del Río de La Plata y la falta de dragados de mantenimiento, con la consecuente disminución del calado de las embarcaciones que pueden ingresar al astillero. Asimismo, se suman los requerimientos adicionales de profundidad que demandan los buques de mayor porte de construcciones más modernas.

Debido a la disminución de la profundidad del nivel de agua en la zona, el funcionamiento del elevador de buques del astillero depende de mareas altas extraordinarias que generen una diferencia de nivel de agua, que permita el ingreso y egreso de los buques. De allí que, el funcionamiento del elevador bajo estas condiciones limita el potencial operativo del astillero.

Para recuperar su capacidad operativa es necesario un descenso del *syncrolift* hasta las profundidades adecuadas para su funcionamiento. El dragado a efectuar requiere de la remoción de aproximadamente 23.500 m³ de sedimentos, hasta alcanzar los 10 m partiendo de 6 m (promedio) de profundidad actual.

Objetivos

El presente trabajo tiene como objetivo diseñar un sistema para el tratamiento de los sedimentos generados por el dragado del *syncrolift* de un astillero, que permita recuperar la capacidad operativa del elevador, contemplando los procedimientos ambientales de referencia.

Objetivos específicos:

- Caracterizar el sitio a dragar evaluando cantidad y calidad de los sedimentos de acuerdo con la normativa de referencia
- Realizar un análisis comparativo de tecnologías para el tratamiento y disposición de material dragado
- Describir el sistema de tratamiento seleccionado

2. MARCO TEÓRICO

En este apartado se presentan las principales definiciones vinculadas al tema en estudio, así como una revisión del marco regulatorio internacional, y de las prácticas de gestión ambiental en materia de dragado en Argentina.

Sedimentos y contaminación

En primer lugar, cabe señalar, que los sedimentos pueden funcionar como reservorios de compuestos hidrofóbicos, persistentes y peligrosos, y por ello varios autores señalan que los contaminantes orgánicos en los sedimentos constituyen una problemática importante para los ecosistemas acuáticos. El vínculo entre los sedimentos y la contaminación de las aguas se puede encontrar en bibliografía específica de referencia en la materia, que se analiza en el presente apartado.

Respecto de la calidad de sedimentos, Perelo (2010) analiza que, los hidrocarburos en sedimentos involucran procesos de adsorción, desorción y transformación y pueden estar disponibles para organismos bentónicos y otros organismos en la columna de agua a través de la interfaz sedimento-agua. La mayoría de estos hidrocarburos pueden ingresar a la cadena trófica y acumularse en el tejido biológico. El autor señala que se encuentran en investigación y desarrollo distintos enfoques para eliminar los hidrocarburos de los sedimentos (Perelo, 2010).

A nivel local, en el “Estudio de la Dinámica Hidrosedimentológica del Río de la Plata: Observación y modelación numérica de los sedimentos finos”, publicado por el Proyecto FREPLATA (2011), se señala que:

Los sedimentos finos acarreados por el Río de la Plata son la principal fuente de transporte de diversos tipos de contaminantes, fundamentalmente metales pesados, hacia el ambiente estuarial (...) El continuo dragado de los canales de acceso a los puertos de Buenos Aires y Montevideo ilustra uno de los aspectos de la gestión ambiental vinculados con el transporte de sedimentos (...)

La calidad de agua del Río de la Plata se ve afectada por la resuspensión de contaminantes asociados a los sedimentos por las actividades de dragado. Durante las últimas décadas se han utilizado numerosas estrategias orientadas a la evaluación, manejo y remediación de los sedimentos contaminados. La calidad de los sedimentos es un problema relevante y

complejo en la operación de obras de dragado y disposición del refulado para mantener canales de navegación (Peluso, 2011).

Los sedimentos costeros del Río de la Plata cuentan con elevados niveles de contaminación, especialmente de hidrocarburos y metales pesados. Según Carsen *et al* (2005) *“existen estudios que indican la presencia de sedimentos de fondo altamente contaminados en varios sectores de la región”* (p. 4). En particular, la desembocadura del Riachuelo es un punto crítico, donde se han documentado valores elevados de metales pesados y compuestos orgánicos, dentro de estos últimos, principalmente hidrocarburos aromáticos, en aguas y sedimentos (Colombo *et al.*, 2006).

El tratamiento de los sedimentos a dragar, requiere de especial atención debido a que en las zonas costeras del Río de la Plata más del 90% de la carga de metales pesados se encuentra en el material particulado y en los sedimentos, retenidos en las diferentes fracciones: arcillas, carbonatos, óxidos de hierro y manganeso, sustancias orgánicas (por ejemplo, ácidos húmicos), organismos vivos (por ejemplo, algas y bacterias) y en ambientes reducidos, también en los sulfuros (Rodríguez Salemi, 2011).

La magnitud de estos procesos puede aumentar cuando grandes cantidades de sedimentos contaminados anóxicos son dragados o cuando los mismos son dispuestos en aguas óxicas, por ejemplo, en aguas abiertas del Río de la Plata. Se ha demostrado que la disposición en aguas con mayor concentración de oxígeno disuelto produce resuspensión de los contaminantes (Pennekamp *et al*, 1996; Van Maren *et al*, 2015).

Batley *et al* (2002), señalan:

(...) cuando los desechos tóxicos son vertidos a un cuerpo de agua, dichos compuestos se particionan entre la fase acuosa y la fase particulada, siendo éstas formadoras de sedimentos a lo largo del tiempo. De esta manera los sedimentos se comportan como aceptores finales de contaminantes pudiendo actuar como fuentes secundarias de contaminación. Los contaminantes asociados a los sedimentos pueden ser resuspendidos de forma natural, por procesos físicos o biológicos (bioturbación), o por la actividad humana, tal como frecuentemente ocurre en la actividad de dragado. Estos mecanismos generan la removilización y redistribución de los contaminantes a la columna de agua desde los sedimentos. Durante las últimas tres décadas se han utilizado numerosas estrategias orientadas a la evaluación, manejo y remediación de los sedimentos contaminados. La calidad de los mismos es un problema relevante y complejo cuando se deben introducir medidas de protección de los sistemas acuáticos, o proyectar obras de dragado y disposición del refulado para mantener canales de navegación con profundidad adecuada. A su vez, no se cuenta con una metodología consistente y unificada para la evaluación y el manejo adecuado de los sedimentos (pp. 1517).

Dragado como problemática ambiental

El dragado, según la Comisión Interministerial de Estrategias Marinas (2015), puede ser definido como la remoción, succión, transporte y descarga del material del fondo de áreas acuáticas utilizando para ello una draga. El principio general de las dragas hidráulicas es mezclar los sedimentos con agua para formar un líquido que luego es succionado, bombeado y transportado a través de las tuberías y finalmente depositado en una área preestablecida.

Landaeta, C. (1999) señala que:

“El material dragado puede ser descargado en agua o en tierra, la selección de tipo y método para depositarlo depende, entre otras consideraciones de: las características físico-químicas de material dragado, la cantidad de material a descargar, las restricciones ambientales y la disponibilidad de áreas cercanas para ser usadas como zonas de descarga. La descarga en tierra en áreas confinadas es siempre recomendada cuando el material dragado requiere tratamiento posterior y/o se busca evitar daños ambientales a zonas cercanas. La descarga del material dragado en agua es siempre la opción más económica pero cada día hay mayores restricciones ambientales a este tipo de descarga. Los más importantes impactos ambientales asociados con la descarga del material en aguas son: incremento de la turbidez, suspensión y distribución de contaminantes, disminución del oxígeno disuelto y ahogamiento y/o cobertura de los organismos vivos presentes en la zona de descarga” (p. 98)

Por otro lado, los dragados de profundización de zonas estuarinas y portuarias que son realizados de manera continua a lo largo del tiempo, generan un aumento de la concentración de SST (sólidos suspendidos totales), lo que a su vez redundará en aumento de las tasas de sedimentación y mayores necesidades de dragados (Van Maren *et al*, 2015).

Vemos entonces que aunque la descarga en tierra minimiza el impacto en la calidad del agua, también genera efectos sobre el ambiente y su selección dependerá de la carga de contaminación y los costos económicos de las operaciones. Por ello, previo a la realización de una obra de dragado, se realiza una caracterización del sitio a dragar evaluando: superficie y volumen a dragar, y calidad de los sedimentos. Posteriormente, se comparan los resultados obtenidos con niveles guía o estándares incluidos en normativa de aplicación o de referencia para evaluar el destino posible del material dragado.

En línea con las estrategias de gestión de sedimentos promovidas por los organismos internacionales, la opción preferente debe ser retener el material dragado dentro del mismo sistema sedimentario acuático de donde es originario, siempre que sea técnica, social, económica y medioambientalmente factible hacerlo. Existen múltiples ejemplos, sobre usos beneficiosos del material dragado (por ejemplo, para regeneración de playas o rellenos portuarios) que deben resultar la opción preferente de gestión, siempre que sus características físicas y ambientales lo hagan posible antes que optarse por su vertido en aguas abiertas (CEDEX, 2015).

A continuación, veremos el marco internacional de regulación ambiental y las prácticas de gestión ambiental más utilizadas en Argentina, conforme la normativa de aplicación.

Marco internacional de regulación ambiental del dragado

Tanto el Convenio sobre la prevención de la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias (Convenio de Londres) como el Convenio sobre la protección del medio ambiente marino del Atlántico Nordeste (Convenio OSPAR) y el Convenio para la protección del medio marino y la región costera del Mediterráneo (Convenio de Barcelona), han aprobado Directrices para la gestión del material dragado que sirven de orientación para la actividad.

El “Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y Otras Materias” (*Convención de Londres*), fue firmado en Londres en 1972 y entró en vigencia en 1975. En Argentina se aprobó por Ley N° 21.947 en 1979 y en la actualidad 87 países han adherido como partes signatarias. La Convención de Londres tiene por objeto regular el vertido de sustancias nocivas en el mar, e incluye también recomendaciones para la gestión de material dragado (Anexo III), que posteriormente los países parte, incorporaron como pautas generales para vertidos en el océano a cuerpos de agua dulce. El Anexo III detalla desde restricciones para la obtención de permisos o cuidados especiales hasta la prohibición total de vertido, según la naturaleza y peligrosidad del material en consideración (Anexos I y II, Ley N° 21.947/79).

En el marco de la Convención, en 1996, se acordó el Protocolo de Londres que entró en vigor internacional posteriormente en el año 2006 y fue ratificado por 42 países (OMI, 2012). De allí surgió también el Marco de Análisis para Material Dragado (“*Dredged Material Assessment Framework*”, DMAF), reemplazado en 2000 por las Directrices específicas para la evaluación de material dragado (“*Specific guidelines for assessment of dredged material*”). En estas guías se establecen distintos criterios para caracterizar el material a dragar, los cuales, en general parten de realizar la caracterización física (cantidad del material a dragar, distribución del tamaño de partículas y granulometría) cuyos resultados determinarán la necesidad de realizar ensayos químicos o biológicos, en una segunda instancia (Dabas, 2012).

Las recomendaciones para la gestión de material dragado contempladas por la Convención de Londres han sido incorporadas explícitamente en esquemas regulatorios de la actividad, vigentes en distintos países, como por ejemplo, Estados Unidos, Canadá, Holanda, España, entre otros.

En la región, las normas de referencia más usadas son las españolas, holandesas, y en menor medida las brasileñas (CEDEX, 2015; The Netherlands Ministry of Infrastructure and the Environment, 2010; CONAMA, 2012).

Entre estas referencias, se observa que difieren en niveles guía y procedimientos específicos, pero todas ellas coinciden en que, en términos generales, de acuerdo con las

concentraciones de contaminantes halladas en los sedimentos, se proceda según distintas estrategias de gestión que, según la calidad de los mismos, van desde el vuelco en aguas abiertas sin restricciones, la disposición en aguas con monitoreo y seguimiento, al tratamiento *ex situ* y disposición confinada.

Por último, cabe aclarar que, en los últimos años, en sintonía con las nuevas tendencias en gestión ambiental de residuos, se ha avanzado en el uso de sedimentos dragados como insumo de procesos o material de relleno, priorizando la reutilización de los mismos frente a la opción de vertido en aguas abiertas que, tradicionalmente, ha sido mayoritaria (Rozas et al, 2018).

Gestión ambiental del material de dragado en Argentina

Según los antecedentes relevados para el presente trabajo, en la zona del Puerto de Buenos Aires, el material proveniente del dragado se deposita habitualmente en aguas abiertas. Particularmente, en la zona del Río de la Plata se vuelca en zonas autorizadas por la Subsecretaría de Puertos y Vías Navegables que se encuentran en sectores no restringidos identificados en el “*Estudio de Áreas de Refulado y Vaciado en la Ruta de Navegación Puerto San Martín al Océano*”, realizado en 1992.

En el país no existe una norma nacional de calidad de sedimentos, con lo cual, para las actividades de dragado, se utilizan referencias de normas, guías o procedimientos desarrollados por otros países.

No obstante, la autoridad ambiental de la Provincia de Buenos Aires, ha desarrollado un procedimiento de Evaluación de Impacto Ambiental para operaciones de dragado (publicado por Resolución OPDS N° 263/2019) que contempla los niveles guía establecidos en la normativa española y holandesa, referenciadas en el apartado precedente. Mediante este procedimiento se establece el régimen jurídico ambiental para los dragados de puertos y canales de acceso a las terminales provinciales, y resulta de cumplimiento obligatorio en todas las actividades de dragado a desarrollar en la Provincia de Buenos Aires.

En los fundamentos de la Resolución OPDS N° 263, 2019, se destacan los siguientes:

Que los sedimentos actúan como sumidero de sustancias que pueden provocar impactos negativos en los cuerpos de agua superficiales y subterráneos, y producir efectos acumulativos en la cadena trófica, correspondiendo evaluar su calidad por comparación entre concentraciones de determinados contaminantes, adaptando los criterios internacionalmente aceptados en la materia a las características y necesidades del ámbito local;

Que el vertido del material extraído a cuerpo de agua superficial debe ser controlado en lo que respecta a la resuspensión del material, aumento de turbidez, afectación de la fauna bentónica, alteraciones en la textura del fondo y condiciones hidrodinámicas de la zona de descarga, entre otras.

Como puede apreciarse, el objetivo es propiciar la adecuada gestión y monitoreo de las operaciones de dragado, así como la reutilización del material y la disminución progresiva

de concentraciones de contaminantes. La misma norma crea un régimen simplificado para las obras menores de dragado y reglamenta los requisitos mínimos que deberán presentar los puertos para la aprobación de su Plan de Gestión Ambiental (PGA).

Además, la autoridad ambiental se faculta para solicitar estudios adicionales previos a la autorización de la actividad de dragado y emisión de la Declaración de Impacto Ambiental (DIA), tales como análisis de riesgos, modelización matemática de hidrodinámica de partículas y/o migración de contaminantes donde se estimen las concentraciones detectables.

El procedimiento desarrollado por la autoridad ambiental de la Provincia de Buenos Aires, si bien no es de aplicación directa al proyecto, es el utilizado como referencia técnica para este trabajo, ante la ausencia de otra norma de aplicación.

3. CARACTERIZACIÓN AMBIENTAL DEL SITIO

El punto de partida para el análisis de alternativas y definición del tratamiento, es la caracterización ambiental del sitio, considerando a escala regional/ local las condiciones del entorno portuario, y, particularmente, el análisis de los sedimentos a dragar. Las características y limitaciones relevadas, permiten planificar la realización de las obras, seleccionar los equipos adecuados de dragado y diseñar el sistema de tratamiento, incluidas las necesidades de transporte y disposición (USACE, 2008 y 2015).

3.1. Caracterización ambiental general del entorno portuario

A continuación se presentan, a escala regional o local, según la información disponible, las características del entorno portuario: el medio físico, incluidas diversas condiciones hidrodinámicas, las características generales del sitio (presencia de infraestructuras, servicios públicos) y los usos de las vías fluviales.

La información ambiental del entorno del predio del astillero resulta necesaria para el diseño del sistema de tratamiento y para la planificación de los trabajos.

Clima

La estación meteorológica más cercana al área de estudio es la correspondiente al Aeroparque Buenos Aires (N° 87582), situada a 7 km aproximadamente del predio, perteneciente al Servicio Meteorológico Nacional (SMN).

El clima en esta zona del Río de la Plata es templado, con variaciones estacionales definidas. Cálido y húmedo durante el verano (diciembre a marzo), con temperaturas

máximas medias de 27°C. Las condiciones atmosféricas del otoño y de la primavera son cambiantes, con temperaturas fluctuantes. Los meses de invierno (junio a septiembre) son templados y húmedos, con una temperatura mínima media de 6°C. La temperatura media anual del aire en la ciudad es 18°C, pudiendo descender en el entorno y en zonas costeras hasta 2°C. La precipitación anual varía entre 900mm y 1600mm, influenciada por los vientos que transportan humedad desde el Océano Atlántico. Las lluvias son más intensas en periodos estivales (Figura 4).

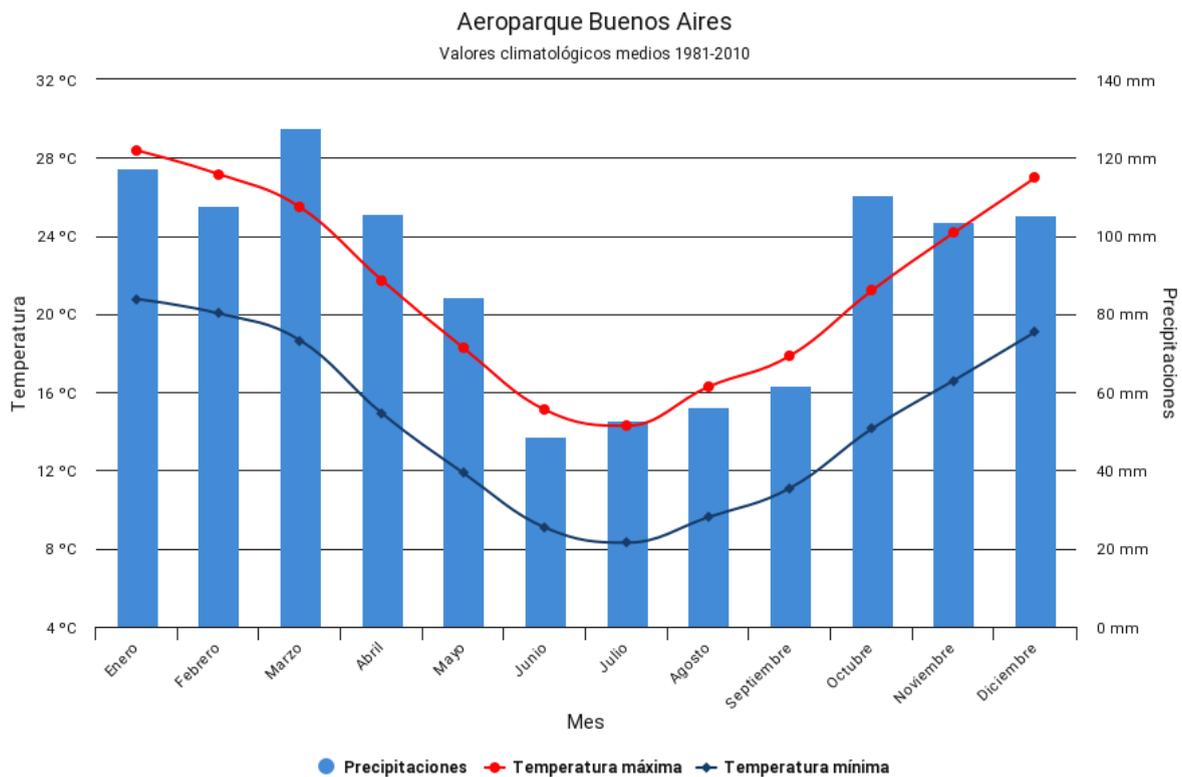


Figura 4. Gráfico de valores climatológicos medios. Estación Aeroparque Buenos Aires.
Fuente: SMN, 2021

La humedad relativa media mensual es de 72,3% y la presión atmosférica es de 1014,9 hPa, a nivel del mar.

Los vientos predominantes son del Norte y generalmente son de baja velocidad, con un 8% de vientos de calma, y un 55% con velocidades menores a 4 m/s. Se registran mayores estancamientos en otoño que en invierno y a su vez existen variaciones diarias por influencia del Río de la Plata. Los vientos fuertes son más frecuentes entre septiembre y marzo, cuando se registra la mayor frecuencia de tormentas (Mazzeo, 2004).

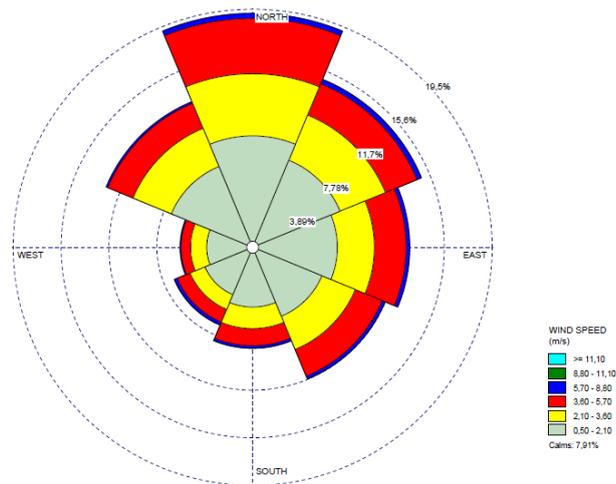


Figura 5 . Rosa de los vientos de la Ciudad de Buenos Aires. Fuente: elaboración propia en base a datos del SMN Observatorio Central (Estación N° 87582), periodo 2012-2016.

Para la planificación de los trabajos de dragado, se deben tener en cuenta los fenómenos meteorológicos como las sudestadas. Asimismo, deben considerarse otros fenómenos vinculados, como las bajantes extremas.

La sudestada es un fenómeno meteorológico de la zona del Río de la Plata. Se desarrolla cuando se producen vientos fríos del sur al sureste sostenidos por varios días, y, el arrastre del viento interfiere con la descarga del Río de la Plata, lo que dificulta el drenaje de cauces afluentes, como el Riachuelo. Esta situación se agrava si en el Río de la Plata Exterior se producen mareas altas anormales. A su vez, se pueden generar olas fuertes que resultan peligrosas para la navegación.

La sudestada puede ocurrir en cualquier época del año, es más frecuente entre los meses de abril y diciembre, y se manifiesta con más intensidad entre julio y octubre. Usualmente, suele terminar cuando el viento rota al sudoeste, se despejan la humedad y nubosidad acumuladas, y descarga o drena el Río de la Plata.

Geomorfología

La Ciudad de Buenos Aires se ubica en el extremo meridional de la pampa ondulada. El terreno es llano con variaciones de altura inferiores a 30m. Incluye diversos ambientes geomorfológicos con una red fluvial que desagua en el río de la Plata. Tiene una red de drenaje totalmente modificada por el proceso de urbanización, con niveles freáticos variables (Auge, 2004).

Los depósitos superficiales, en cursos de agua, cauces de arroyos o fondos de lagunas están compuestos por sedimentos postpampeanos (Lujanense, Platense y Querandinense), limo arcillosos, arcillosos y en menor proporción limo arenosos de color verdoso.

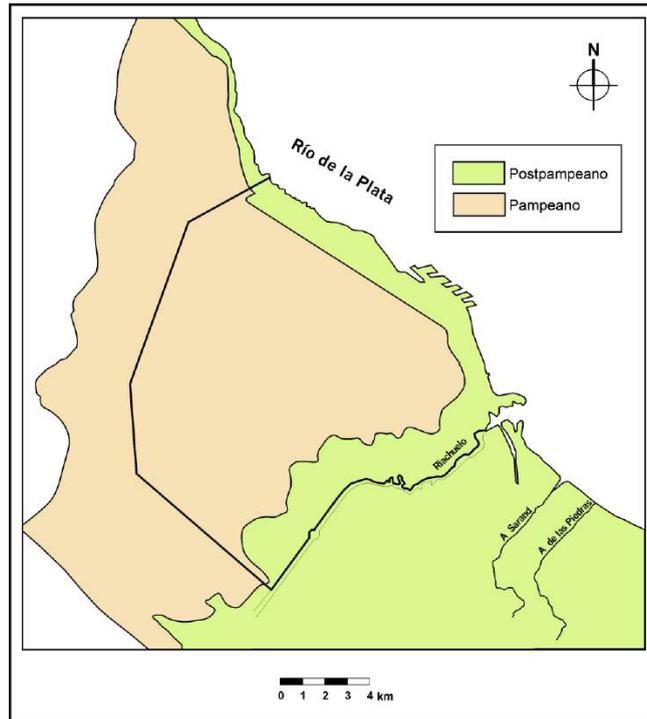


Figura 6. Sedimentología de la Ciudad de Buenos Aires. Fuente: Auge, 2004

La superficie del Puerto, ha sido rellenada en el avance de la Ciudad sobre el Río, y posee 6 m de espesor promedio. Según Pereyra (2004), los rellenos finos y materiales orgánicos naturales y rellenos heterogéneos poseen propiedades variables resultado de las mezclas de materiales utilizadas para realizarlos, que incluyen materiales de escombros de la construcción, sedimentos pampeanos excavados, materiales refulados de los dragados del Río de la Plata y desechos domiciliarios e industriales.(Figura 7)

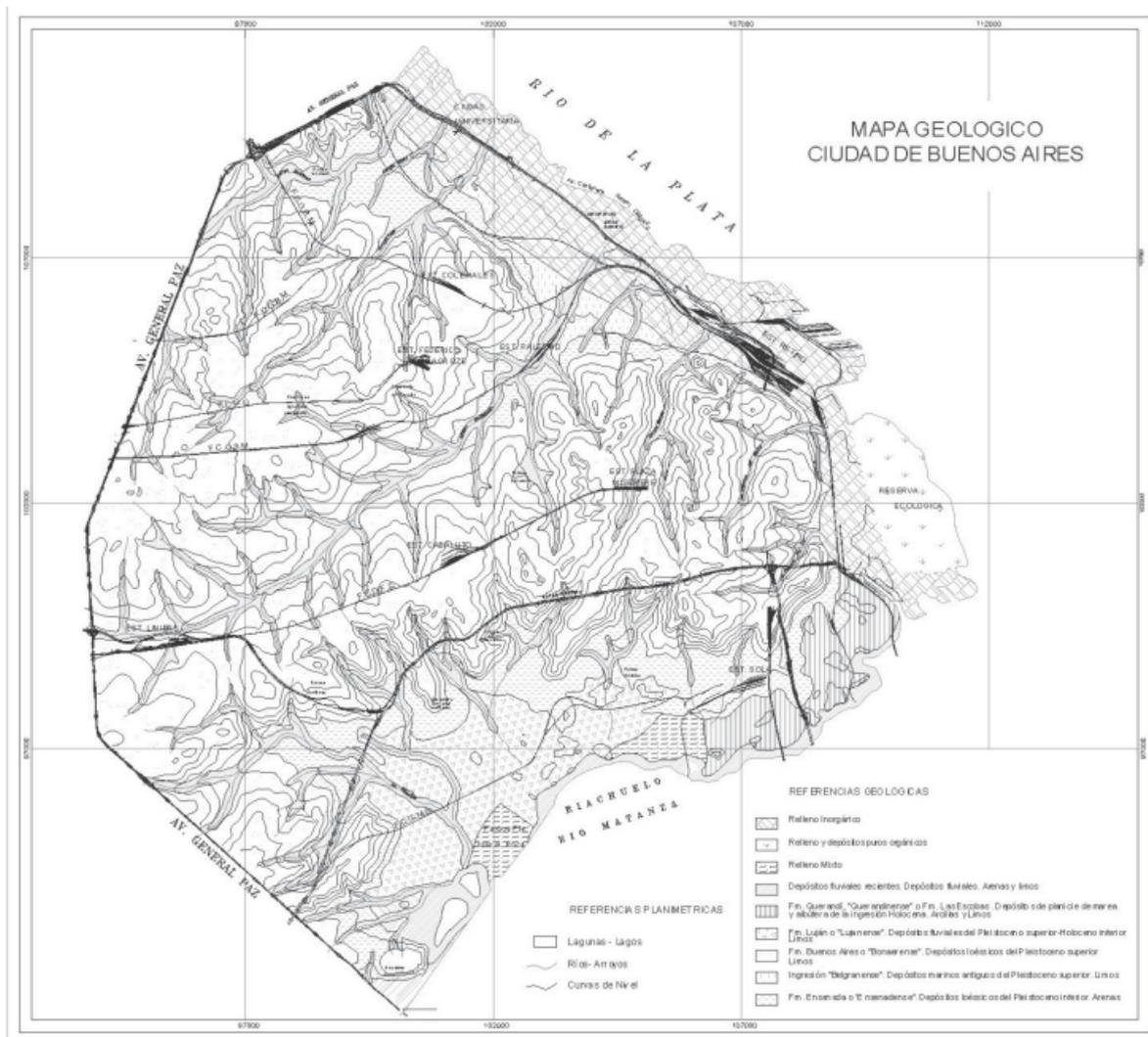


Figura 7. Mapa geológico de Buenos Aires. Fuente: Pereyra, 2004

Aguas Subterráneas

El subsuelo de la región de interés está caracterizado por los denominados sedimentos postpampeanos. Los sedimentos están constituidos principalmente por materiales loésicos que cubren en forma de manto el subsuelo de la región y zonas aledañas, siendo los espesores promedios de 30 a 50 m. Son depósitos mayormente limosos con proporciones variables de arena y/o arcilla. Según Auge (2004), la permeabilidad de los sedimentos varía entre 1 y 10 m/d, mientras que la porosidad efectiva oscila entre el 5 y el 10%.

Debajo del acuífero Pampeano se ubica el acuífero Puelches, el cual se encuentra sobre sedimentos arenosos de la formación Puelches, presentando un carácter semiconfinado o semilibre. Este acuífero constituye la fuente de agua potable de otras localidades cercanas a la CABA, como así también su uso a escala industrial. Los caudales específicos de esta

unidad acuífera están comprendidos entre 4 y 5 m³/h/m, alcanzando en algunas localidades los 10 m³/h/m.

Aguas superficiales

El Río de la Plata es un estuario que cubre aproximadamente 35000 km, posee una longitud total de 320 km, y su ancho varía entre 38km en la zona superior hasta 230 km en la desembocadura. Las temperaturas medias del agua varían entre 12° C en invierno y 24° C en verano. Mantiene en su cauce superior y medio un promedio de 5m de profundidad, mientras que en su límite exterior (en la línea de desembocadura con el mar) aumenta, llegando hasta los 18 m.

Frente a la Ciudad de Buenos Aires el ancho del río es de 42 km y en esta zona, la profundidad media es de 2,5 m.

En el Río de la Plata penetran las ondas de marea provenientes del Océano Atlántico. Durante su propagación, estas ondas se ven alteradas por diversos factores, siendo los más relevantes el desagüe fluvial, la fricción, la forma del río y su topografía. **Las mareas que afectan al río son de escasa magnitud, generalmente menores a 1 m entre bajante y pleamar. Sin embargo, las sudestadas pueden hacer ascender el agua a más de 4 m sobre el nivel normal**, provocando el anegamiento de las zonas bajas y dificultando la descarga de los cursos fluviales que desembocan en el Río de la Plata.

La calidad de sus aguas es variable a través de su ancho, con zonas altamente contaminadas sobre la costa argentina hasta los 2 a 3 km, evidenciándose presencia de metales (cobre, cinc, manganeso, plomo y cadmio), hidrocarburos y pesticidas (FREPLATA, 2004).

Sedimentología

En función de las características de los sedimentos, se han identificado tres tramos en el Río de la Plata (FREPLATA, 2004). En particular, en la zona costera de Buenos Aires, predominan los sedimentos finos (limos, limos arcillosos y arcillas limosas).

Los valores de estas tasas medias espacio/temporales se presentan en la Tabla 7.2. Se observa que estas varían desde un mínimo de 0,6 mm/d para Terminal 6 hasta un máximo de 1,8 mm/d para la dársena A. Estos valores serán utilizados como referencia para calibrar el modelo de sedimentación (INA, 2019).

La velocidad de deposición estimada para el Río de la Plata, varía según autores, encontrándose siempre dentro del mismo orden de magnitud, calculando 1 mm/s (Cardini, 2002), y un mínimo de 0,6 para Terminal 6 hasta un máximo de 1,8 para la dársena A (Menendez, 2002), por lo cual, los autores asumen que, en términos generales estos

sedimentos decantan en condiciones de marea detenida. Esta facilidad para difundir las partículas, sumada a la ausencia de salinidad y al bajo contenido de material orgánico, que evita fenómenos de floculación, explica la relativa uniformidad de la concentración de sedimentos en suspensión en la región interior del Río de la Plata. El valor medio de esa concentración oscila entre 50 y 100 mg/l, si bien se han detectado valores de hasta 600 mg/l, probablemente debido a efectos de agitación por oleaje (Cardini, 2002).

Debido a las formas de depositación de los sedimentos como consecuencia de la dinámica fluvial, se observa que funcionan como depósitos permanentes de contaminantes. Por otra parte, la mayor capacidad de adsorción corresponde a los sedimentos más finos, razón por la cual en la zona objeto del presente estudio puede darse una mayor captación de contaminantes (FREPLATA, 2004).

Medio biótico

Dado el carácter urbano del sitio de implantación del puerto y su entorno, el ambiente biótico está conformado por organismos vegetales y animales en su mayoría exóticos.

No obstante, en el entorno del emplazamiento del astillero, asociados a terrenos de relleno y avance sobre el Río de La Plata, se establecieron secundariamente en forma natural formaciones semejantes a las autóctonas, y se han regeneraron los ecosistemas nativos. En particular, aguas arriba del sector sur del Puerto Buenos Aires, a 1 km aproximadamente del sitio de dragado, se encuentra la Reserva Ecológica de Costanera Sur, la cual constituye un importante reservorio de biodiversidad urbana.

Medio socio-económico e infraestructura

El Puerto de Buenos Aires es un puerto artificial, ubicado en la zona costera de la Ciudad homónima. La Administración General de Puertos Sociedad del Estado, es el organismo administrativo responsable de la gestión ambiental del Puerto, y se encuentra bajo la dependencia funcional del Ministerio de Transporte (Decreto 08/2016).

El Puerto de Buenos Aires se encuentra bajo dominio territorial y operativo del estado nacional. Si bien la Ley N° 24.093/1992 de Actividades Portuarias, transfirió la totalidad de los puertos desde la órbita nacional a las provincias, en 1992 la ciudad de Buenos Aires no era autónoma, por lo que se vetó parcialmente la ley en lo referido al traspaso del Puerto Buenos Aires a la Ciudad. Posteriormente, en 1994 la Ciudad dictó su constitución y se declaró autónoma, pero el Puerto continúa actualmente bajo jurisdicción nacional (Dabas, 2014).



Figura 8. Puerto de Buenos Aires. Fuente: AGPSE, 2023

El Sector del Puerto Sur está delimitado hacia el norte por la calle Brasil y hacia el sur por el Riachuelo y comprende un sector de 115 ha y 5000 m de muelle en las zonas de Madero Sur y Boca Barracas.

La zona del Puerto Sur cuenta con infraestructura de todos los servicios básicos: agua potable, cloaca, electricidad, recolección de residuos, etc.

Entorno del predio del astillero

Sobre ambas márgenes de la desembocadura del Riachuelo se emplazan establecimientos industriales, algunos de ellos vinculados a la actividad portuaria. Hacia el este del predio se encuentra la central de generación termoeléctrica “Costanera” (potencia instalada de 2.324 MW), y lindero hacia el oeste, se ubican edificios y depósitos de la autoridad de Puertos y Vías Navegables de la Nación. En la margen sur del Riachuelo se encuentra el Puerto de Dock Sud, donde se desarrollan actividades asociadas al transporte de combustibles y una terminal portuaria de contenedores y cargas que ocupa 50 ha. En el mapa a continuación (Figura 9), se representan las principales actividades del entorno inmediato del astillero.

Cabe aclarar que todos estos establecimientos realizan dragados de sus sedimentos, para asegurar la continuidad de sus actividades de navegación.



Figura 9. Establecimientos en el entorno del Puerto Sur. Fuente: elaboración propia.

3.2. Caracterización ambiental del sitio a dragar.

A continuación se presentan las propiedades físico-químicas de los sedimentos y el agua, así como la extensión espacial (volumen) del sitio de intervención a fin de estimar la calidad y el volumen de sedimento a remover para la refuncionalización de la dársena del astillero.

La caracterización de los sedimentos y el agua superficial son analizadas a través de la aplicación del procedimiento para la gestión ambiental del material de dragado, establecido en la Res. OPDS.

En esta instancia, cabe aclarar que, a los fines de la elaboración del presente Trabajo Final de Especialización -TFI-, no se han obtenido datos oficiales respecto de la calidad de los sedimentos en el sitio, pero se cuenta con resultados de otros muestreos recientes realizados en la zona los cuales se utilizan como referencia.

Volumen a dragar

Para estimar el volumen de material a dragar, se realiza un cálculo que promedia los niveles de profundidad de sedimentos de acuerdo con una batimetría (Figura 10), que arroja una profundidad de 6 m a 7 m respecto del nivel 0 del Riachuelo (IGN, 2017). Resultando necesario para el funcionamiento del *syncrolift* llevar la profundidad a 10 m, con lo cual se estiman aproximadamente 4 m de profundidad. La superficie de la dársena donde se apoya

el *syncrolift* es de 184 m x 32,90 m. Por lo tanto, el cálculo del volumen a dragar es el siguiente:

$$4 \text{ m} \times 184 \text{ m} \times 32,9 \text{ m} = 23.552 \text{ m}^3$$

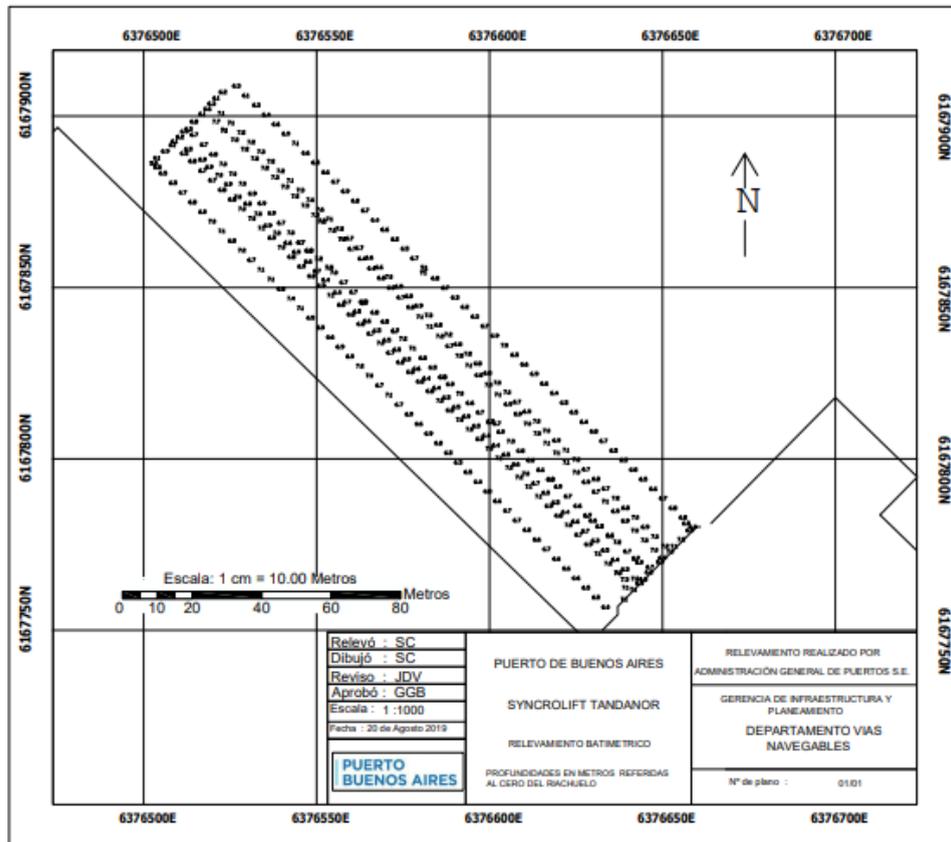


Figura 10. Batimetría de la dársena del *syncrolift*. Fuente: AGP, 2023

Cantidad y ubicación de sitios de muestreo se sedimentos y agua

En primer lugar, se calculó la cantidad de sitios de diagnóstico para la toma de muestras. La Res. OPDS clasifica las áreas a dragar en: área que bordea los muelles (Zona M), área de dársenas portuarias (Zona G), canales de acceso al vaso portuario (Zona C), otros (Zona O). En este caso, por tratarse de obras a realizar en zona portuaria, corresponde su clasificación como Zona G. Allí, la cantidad mínima de puntos de muestreo se calcula en función de la superficie a dragar mediante la siguiente expresión:

$$N = S / (25 \sqrt{S})$$

Siendo, N = número mínimo de sitios de diagnóstico y S= superficie del área a dragar (m²)

La plataforma del syncrolift tiene una superficie de 6.053 m², 184 metros de largo por 32,9 metros de ancho. Reemplazando en la fórmula obtenemos un resultado de $N = 3,1$. Si bien, considerando el resultado, podrían utilizarse 3 sitios de muestreo como mínimo, se resuelve aumentar el muestreo a 4 estaciones.

La ubicación se determina de manera equidistante, cubriendo una cuadrícula representativa de toda la superficie (Figura 11).



Figura 11. Ubicación de estaciones de muestreo. Fuente: elaboración propia.

La Res. OPDS establece el muestreo de agua superficial en un número mínimo equivalente al 25 % del número de sitios de diagnóstico de sedimentos. Con la finalidad de contar con una mejor comprensión del sitio, se tomaron 2 muestras de agua cuya ubicación coincide con dos de los sitios de muestreo de sedimentos.

La ubicación de los sitios de muestreo corresponde a las siguientes coordenadas:

Identificación	Matriz	Lat	Long
1	Sedimentos	34°37'38,2''S	58°20'47,1''W
2	Sedimentos y agua	34°37'40''S	58°20'46,1''W
3	Sedimentos	34°37'40,6''S	58°20'43,6''W
4	Sedimentos y agua	34°37'42,6''S	58°20'43,2''W

Tabla 1. Ubicación de las estaciones de muestreo.

Metodología de Muestreo

En el informe del laboratorio, los sedimentos superficiales se obtuvieron mediante draga Van Veen y las muestras en profundidad con un dispositivo del tipo Gravity Core. Este último, es un método de muestreo que se basa en la recolección de sedimentos de fondo por la caída gravitacional del dispositivo. El sedimento ingresa a este a través de la válvula de retención que posee en su extremo inferior.

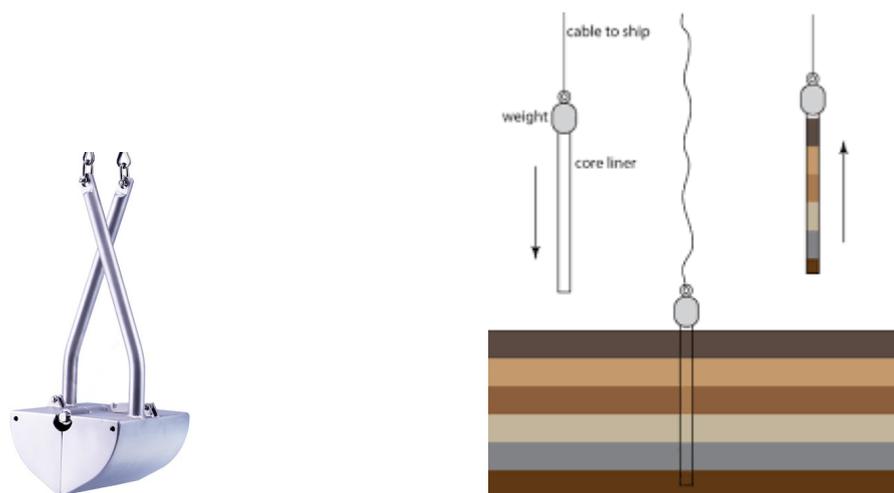


Figura 12. Dispositivos de toma de muestra, a la izquierda el utilizado para las muestras superficiales, y a la derecha, un esquema del funcionamiento del sistema para aguas profundas. Fuente: Imágenes de google, 2023.

Para cada estación de muestreo se obtuvieron 2 muestras: 1 superficial y 1 “compuesta” que integra los sedimentos en profundidad. Conforme lo requerido en la Res. OPDS, se efectuó la “composición” de las muestras de profundidad, las cuales se forman mezclando partes iguales de cada muestra individual proporcionales al volumen de material obtenido.

Las muestras de agua superficial se obtuvieron a una profundidad de 1 m.

Resultados de calidad de sedimentos

Considerando lo requerido en la Res. OPDS el proyecto encuadra como Dragado de 2° Grado en un Puerto Tipo 2, por lo que se analizaron los parámetros allí indicados.

Posteriormente se realizó la “normalización” de los resultados, que consiste en aplicar determinadas correcciones con la finalidad de comparar los resultados con los estándares de la Res. OPDS:

- **Compuestos metálicos y arsénico:** según el contenido de sedimentos finos.

$$C_{ei} = C_i \cdot FNG / FF$$

Siendo: C_{ei} la concentración normalizada por muestra; C_i la concentración del parámetro i obtenida en el análisis, y FF y FNG las fracciones fina (material de diámetro inferior a 0,063 mm) y no gruesa (diámetro inferior a 2 mm), respectivamente, expresadas en % en peso.

- **Compuestos orgánicos:** se ajustan al contenido de materia orgánica

$$C^* = C_i \cdot 10 / MO$$

Donde: C^* es concentración corregida o ajustada a valores estándares de Materia Orgánica (10%), C_i es concentración del parámetro i determinado en laboratorio, y MO es Materia orgánica de la muestra.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos en laboratorio para los análisis de granulometría y parámetros físico-químicos. Los ajustes mencionados precedentemente, se presentan en la tabla en las columnas, Sed_p (profundidad compuesta) y Norm (normalizado).

Parámetro	Unidad	Sed1	Norm1	Sed1_p	Norm1_p	Sed2	Norm2	Sed2_p	Norm2_p	Sed3	Norm3	Sed3_p	Norm3_p	Sed4	Norm4	Sed4_p	Norm4_p
Granulometría	% FF	3,16				1,68				2,16				4,3			
	%FNG	5,92				3,24				6,83				9,96			
M.O.	%	3,3				3,1				3,4				3,4			
Arsénico	mg/kg	1,4	2,62	5,5	10,30	2	3,86	1,4	2,70	0,5	1,58	0,9	2,85	4,7	10,89	3,7	8,57
Cadmio	mg/kg	0,3	0,56	0,59	1,11	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	0,2	0,63	0,6	1,90	0,2	0,46	0,4	0,93
Zinc	mg/kg	188	352,20	162,9	305,18	108	208,29	138	266,14	159	502,76	123	388,93	143	331,23	145	335,86
Cobre	mg/kg	157	294,13	122,5	229,49	61,4	118,41	78	150,43	60,5	191,30	43	135,97	60,6	140,37	60,8	140,83
Cromo total	mg/kg	29,4	55,08	94,6	177,23	49,4	95,27	45,5	87,75	10,9	34,47	23	72,73	68,9	159,59	68,1	157,74
Mercurio	mg/kg	<0,05	<0,05	0,33	0,62	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Niquel	mg/kg	7,4	13,86	6	11,24	6,2	11,96	9,4	18,13	5,7	18,02	4	12,65	7,2	16,68	7,4	17,14
Plomo	mg/kg	11,1	20,79	12	22,48	15	28,93	12	23,14	6,9	21,82	5,5	17,39	21,2	49,11	21,9	50,73
pH 1:1	upH	6,7				6,7		6,7		6,8		6,8		6,8		6,8	
Benceno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Tolueno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Etil benceno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	

o-Xileno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
m,p-Xileno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
C10-C40	mg/kg	1580	4787,8	1324	4012,12	1280	4129,0	1354	4103,0	1160	3411,7	1175	3560,6	1480	4352,9	1286	3896
PAH's totales	µg/kg	146	442,42	121	366,67	512	1651,6	387	1172,73	185	544,12	197	596,97	217	638,24	234	709,09
Naftaleno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Acenaftileno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Acenafteno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Fluoreno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Fenantreno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Antraceno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Fluoranteno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	
Pireno	µg/kg	80,9				132		87		107		90		141		132	
Benzo(a) antraceno	µg/kg	<10				19,2		25		<10		<10		<10		<10	
Criseno	µg/kg	<10				31,8		33		22,6		45		<10		<10	
Benzo(b)fluoranteno	µg/kg	<10				<10		<10		<10		<10		<10		<10	

Tabla 2. Resultados del muestreo de calidad de sedimentos.

Conclusiones sobre la calidad de las muestras de sedimentos

La Res. OPDS establece cuatro categorías de sedimento, conforme los resultados obtenidos en el muestreo y su comparación con los niveles de referencia.

Categoría	Compuestos orgánicos	Metales
A	< VL	< I
B	VL < VR	I < 2
C	VR < VI	2 < 8 x II
D	> VI	> 8 x II

Tabla 3. Categorías de sedimento, según Res. OPDS.

En la tabla de resultados, se colorean las celdas según su encuadre.

Respecto a los Hidrocarburos (C10-C40), las muestras resultan Categoría C. Los PAHs y el Cobre se encuadran en la Categoría B. Para la Categoría C, la Res. OPDS establece restricciones para su vuelco, y para la Categoría B se establecen acciones de control y monitoreo, pero se habilita su vuelco en aguas.

En conclusión, los compuestos de interés del sitio, sobre los cuales será necesaria implementar una tecnología de tratamiento en el sedimento dragado, previo a su descarga en el agua, son los hidrocarburos.

Resultados de análisis de calidad de agua

Los resultados obtenidos en el muestreo indican que la calidad del agua en el sitio de muestreo cumple con los niveles guía establecidos en la Res. OPDS.

Parámetro	Unidad	agua_1	agua_2
Conductividad	uS/cm	217	209
SST	mg/l	224	192
SDT	mg/l	152	134
OD	mg/l	8,67	8,75
DBO	mg/l	<5	<5
DQO	mg/l	<15	<15
Cianuros totales	mg/l	ND	ND

Sulfuros	mg/l	ND	ND
Fósforo total	mg/l	ND	ND
Fenoles	ug/l	ND	ND
Nitratos	mg/l	ND	ND
Nitritos	mg/l	ND	ND
Arsénico	mg/l	ND	ND
Cadmio	mg/l	ND	ND
Cobre	mg/l	0,007	0,006
Mercurio	mg/l	ND	ND
Niquel	mg/l	ND	ND
Cromo	mg/l	0,007	0,004
Plomo	mg/l	ND	ND
Dureza	mg/l	46,7	49,4
Hidrocarburos DRO	mg/l	ND	ND
Turbidez	UNT	27	30
pH	upH	8	7,5

Tabla 4. Resultados del muestreo de calidad de agua.

4. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO Y REMEDIACIÓN

Las muestras de sedimentos del sitio *syncrolift* analizadas en este trabajo, presentan concentraciones de *aceites y minerales* (considerados equivalentes a C10-C40, o hidrocarburos totales de petróleo) que encuadran como Categoría C para la Res. OPDS, conforme al detalle que se incluye en el capítulo de condiciones ambientales del sitio. Por lo tanto, las alternativas de tratamiento a analizar en el presente trabajo, apuntan a la gestión ambiental del sedimento contaminado con *hidrocarburos*.

En la Categoría C¹ se encuadra “aquel material que puede provocar un impacto ambiental significativo sobre el área de influencia y/o la zona de descarga, por cuanto su disposición es contenida.”

¹ En esta instancia, cabe aclarar que la Res. OPDS posibilita la realización de análisis ecotoxicológicos complementarios, en aquellos casos en que el proponente de una actividad de dragado lo requiera en función de la propuesta de tratamiento y el sitio de disposición del sedimento a aplicar. Para el presente TFI, se excluye esta instancia, por no contar con datos de bioensayos en la zona, ni tener la posibilidad de realizarlos.

Si bien la norma indica que debe realizarse “disposición contenida”, y la define como el procedimiento mediante el cual “los sedimentos deberán ser dispuestos de forma contenida en tierra, entendiéndose como tal al proceso que garantiza la recepción de la hidro mezcla en contenciones limitadas por terraplenes, geotextiles u otros mecanismos que impidan la fuga de la fracción fina de los materiales almacenados, pudiendo evacuarse el agua de refulado por medio de vertedero”, también se establece que con carácter general, se deberá “realizar la evaluación de posibles usos en tierra de los sedimentos, para todas las categorías de material, privilegiando cualquier alternativa que desde el punto de vista técnico y económico resulte sustentable, por sobre la disposición libre en agua”. Asimismo, se indica que los materiales clasificados “Categoría C” y “Categoría D” podrán ser utilizados como material de relleno previo diagnóstico que demuestre su aptitud y aprobación por parte de la autoridad ambiental de aplicación, y que, pueden presentarse propuestas de gestión que contemplen la reutilización de los materiales para relleno, saneamiento y perfilación de costas fluviales y marítimas.

Respecto de la realización de un tratamiento previo a disposición, la Res. OPDS establece que se deberá presentar un proyecto detallado de la ingeniería y tecnología involucrada, que deberá tender a lograr una reutilización del material a tratar, o en su defecto “transformar en Categoría B un material extraído clasificado como Categoría C”. Cabe aclarar que los valores de PAHs y de cobre, obtenidos en las muestras ya encuadran como categoría B. **En tal sentido, el tratamiento a realizar deberá apuntar a reducir la concentración de Hidrocarburos hasta valores inferiores a los 3000 mg/kg. Considerando que los valores máximos obtenidos en las muestras son de 4700 mg/kg, las tecnologías a aplicar requieren de una eficiencia de tratamiento del orden del 40-50%.** Se puede considerar, a priori, que lo más apropiado para el caso, sería aplicar tratamientos físicos y biológicos, que no impliquen la generación de otras corrientes de residuos y efluentes o gastos energéticos.

Por último, la Res. OPDS recomienda el uso de las siguientes técnicas en aquellos casos en que el material se encuentre contaminado con sustancias orgánicas combustibles o térmicamente degradables

- Tratamientos térmicos.
- Tratamientos biológicos.
- Separación física de la fracción gruesa menos contaminada de la fina (esta técnica está basada en el efecto del tamaño de partícula).

En conclusión, en el presente estudio se evalúa la aplicación de tecnologías de tratamiento y disposición final del sedimento dragado, considerando su encuadre en la norma, y las restricciones y consideraciones planteadas respecto del sitio de intervención, a saber:

- “Disposición contenida”: que, en este caso, consiste en la extracción y tratamiento en el predio, y su vuelco en recinto con tratamiento previo a su vuelco.

Bajo esta categorización, se evalúan el tratamiento biológico (biopilas) y el tratamiento térmico.

- Disposición confinada: que consiste en la extracción, tratamiento ex situ para disposición final mediante tratador habilitado.

A través del análisis multicriterio se evalúan las estrategias de reducción del hidrocarburo en el sedimento mediante tres opciones: tratamiento biológico y tratamiento térmico (que permitirían el reuso del material como defensa costera en el predio), y la disposición confinada mediante tratador.

Se descartan otras alternativas de tratamiento definidas en la norma, como:

- La inmovilización o *capping*, porque resulta necesaria la remoción del sedimento para recuperar la capacidad operativa del astillero.
- La disposición libre en aguas abiertas, cuyo tratamiento consiste en la **atenuación natural y dilución**, porque las concentraciones de hidrocarburos halladas en los sedimentos superan los límites establecidos en el marco legal vigente.

Análisis multicriterio

Se realizó una evaluación cualitativa de las distintas estrategias de tratamiento del sedimento mediante una matriz multicriterio teniendo en cuenta tanto los aspectos técnicos como económicos.

Las variables a considerar son: disponibilidad (oferentes), efectividad, confiabilidad/mantenimiento, tiempo, costos globales, a los que se les agrega como variables, las limitaciones regulatorias y el impacto ambiental de cada alternativa.

Se determinó la siguiente escala cualitativa: MM (Muy Malo); M (Malo); R (Regular); B (Bueno); MB (Muy bueno).

MM (Muy malo)	1
M (Malo)	2
R (Regular)	3
B (Bueno)	4
MB (Muy bueno)	5

A continuación se presenta la matriz resumen, producto del análisis multicriterio.

MATRIZ RESUMEN

			Tratamiento biológico		Tratamiento Térmico		Confinada (disposición final)	
disponibilidad (oferentes)			Además de numerosas empresas que podrían realizar el trabajo, se destaca que el astillero cuenta con la superficie y capacidad técnica operativa para poder desarrollar la alternativa.		Implicaría la instalación de un sistema de tratamiento con requerimientos operativos que superan la capacidad actual del astillero, requiriéndose la contratación de un tercero.		Existen numerosos oferentes que prestan servicio de disposición final.	
Valor conceptual	Escala numérica	Cant. de oferentes	Empresas	Capacidad propia	Empresas	Capacidad propia	Empresas	Capacidad propia
MM	1	<2						
M	2	2						
R	3	3-4						
B	4	5-6						
MB	5	>6	>6	si	>6	no	>6	no
Puntaje asignado			5		4		4	

efectividad			Los hidrocarburos serán removidos hasta alcanzar los valores de descarga, conforme la Res, OPDS, para lo cual no se requiere un gran porcentaje de eficiencia.		Es una tecnología probada para la biodegradación de hidrocarburos, con altos valores de remoción.		Es eficaz en términos de la remoción del sedimento contaminado del sitio.	
Valor conceptual	Escala numérica	% de eficiencia						
MM	1	<30						
M	2	30-50						
R	3	50-70	50%					
B	4	70-90			70%			
MB	5	>90					100%	
Puntaje asignado			3		4		5	
mantenimiento/operabilidad			Requiere del monitoreo periodico de sedimentos y agua.		Requiere del monitoreo periodico de sedimentos y agua		No requiere	
Valor conceptual	Escala numérica	Cantidad de variables operativas						
MM	1	>10						

M	2	10-8							
R	3	7-5	7		5				
B	4	4-2							
MB	5	<2					1		
Puntaje asignado			3			3			5
tiempo			Se requiere de mucho tiempo para alcanzar las condiciones adecuadas para la descarga del sedimento en el recinto.			Es esperable que el sedimento alcance rápidamente las condiciones del sitio de descarga			El tiempo que demande el traslado del material hasta el sitio de tratamiento o disposición final.
Valor conceptual	Escala numérica	Tiempo (meses)							
MM	1	>15							
M	2	9-15	6 a 10 meses						
R	3	5-9							
B	4	2-4					2		
MB	5	<1			1				
Puntaje asignado			2			5			4

costos globales (valor estimado según consulta web FRTR, 2020)			La actividad se realiza en el mismo predio y con operarios del astillero, lo cual reduciría los costos estimados.	Es necesario instalar un sistema de tratamiento que requiere su operación mediante terceros.	La cantidad de material dragado implicaría el traslado de grandes cantidades de material, con altos costos logísticos y de tratamiento.	
Valor conceptual	Escala numérica	Millones de USD/ m3				
MM	1	>1200				1500
M	2	800-1200			1000	
R	3	400-799				
B	4	200-399				
MB	5	<200	130			
Puntaje asignado			5		2	1
Otros aspectos						
Limitaciones regulatorias			Realizando el tratamiento previo al vuelco, se espera que el sedimento cumpla con las condiciones para la disposición controlada en aguas.	Realizando el tratamiento previo al vuelco, se espera que cumpla con las condiciones para la disposición controlada en aguas.	Puede tener limitaciones regulatorias, en tanto implica el transporte interjurisdiccional (de territorio nacional al de la Ciudad de Buenos Aires, y luego a un tratador en otra jurisdicción) del sedimento con características de peligrosidad	

Puntaje asignado (1MM - 5 MB)	5	5	2
Impacto ambiental	El tratamiento biológico se basa en la acción de la naturaleza para la reducción de contaminantes. No implicaría uso de energía, sustancias químicas, ni la generación de residuos. El sitio propuesto para la descarga se encuentra en una zona contigua con malas condiciones ambientales (similares a la del sitio de dragado). En la zona la biota presente ya se encuentra adaptada a esas condiciones.	Implica la instalación de tecnologías para el tratamiento y el uso de energía y combustibles. Se emiten gases de combustión, los cuales deben ser tratados.	
Puntaje asignado (1MM - 5 MB)	5	2	1
Puntaje total	28	25	23

Tabla 5. Matriz de análisis multicriterio.

5. DESARROLLO DEL PROYECTO/ MEMORIA TÉCNICA

Introducción

El proyecto consiste en extraer los sedimentos que bloquean el elevador, sin retirar el *syncrolift*, y derivarlos a través de un conducto hacia un sistema de separación física de fases (agua y sedimento). A continuación, se deriva el sedimento hacia las biopilas para la reducción de los hidrocarburos que puedan quedar presentes hasta alcanzar los niveles que permitan su descarga. Se propone que dicha descarga se realice en un recinto construido en el agua en una dársena contigua del astillero (actualmente deteriorada), realizando así un reuso del material. El agua se vuelca en aguas abiertas (Figuras 13 y 14).



Figura 13. Esquema general del sistema de tratamiento. Fuente: elaboración propia.



Figura 14. Ubicación del sistema de tratamiento. Fuente: elaboración propia.

Selección de equipo de dragado

Para el presente proyecto se va a utilizar una **draga hidráulica** ya que resulta la más adecuada para realizar el dragado sin desmontar las estructura del syncrolift.

El transporte hidráulico se define como el proceso de bombeo de lechada de sedimentos a través de una tubería. Este proceso puede ser un método económico para transportar grandes volúmenes de materiales a granel, especialmente cuando se conecta directamente a una draga hidráulica (USACE, 2008).

El funcionamiento de la draga hidráulica consiste en agregar agua a los sedimentos para crear una lechada que se pueda bombear por tubería al sitio de tratamiento. Normalmente, el volumen de agua añadido es de 5 veces el volumen de sedimento extraído en el lugar (FRTR, 2021).

Existen otros tipos de dragas, mecánicas o neumáticas, o pueden utilizarse sistemas híbridos que utilizan dispositivos mecánicos para eliminar el sedimento y mezclarlo con agua para crear una lechada. No obstante, en este caso se opta por un sistema de dragado hidráulico que evite afectar la estructura del syncrolift y su operatividad. Tanto un sistema mecánico, que utiliza cucharones de excavación o bien, un sistema neumático que requieren el uso de agua a alta presión, podrían dañar el dispositivo elevador o perjudicar sus operaciones.

Los durmientes se pueden retirar y colocar nuevamente para la realización de muestreos y para el desarrollo de las actividades de dragado (Figura 15).



Figura 15. Durmientes del syncrolift que pueden ser removidas para el bombeo del material a dragar, sin afectar su funcionamiento.

Para la estimación del volumen a dragar, se calcula que al bombear el sedimento, se extrae hasta 5 veces en volumen de agua (FRTR, 2021), con lo cual a los 23.500 m³ de sedimento se le suman 117.500 m³ de agua que se incorporarán al material bombeado.

Transporte del material dragado al sitio de tratamiento

La selección de un método apropiado y equipo específico en gran medida se basará en factores específicos del sitio y del sistema de tratamiento apropiado, que incluyen:

- Sistema de tratamiento
- Transporte de material desde el sitio de dragado al sitio de procesamiento y al sitio de disposición
- Tipo de sedimento y escombros
- Profundidad del agua
- Tipo y concentración de contaminantes

Los proyectos de dragado pueden variar en tamaño desde pocos metros cúbicos de sedimento hasta millones, lo que afectará el tipo de equipo de transporte a seleccionar.

Los rangos de tamaño típicos incluyen:

- Pequeño: menos de 25.000 m³, pueden ser transportados por camiones.
- Medio: 25.000 a 200.000 m³, se pueden transportar en camiones, o mediante ductos hacia el sistema de tratamiento.
- Grande: mayor que 200.000 m³. Los grandes proyectos se pueden transportar en camión, sin embargo, resulta más costo efectivo instalar el sistema de tratamiento en un sitio cercano para evitar la gran cantidad de traslados y reducir tiempos e impacto ambiental.

En este caso, contemplando el volumen extraído por la draga, se considera que se trata de un proyecto de rango “medio”.

El sistema de bombeo a instalar cuenta con un caudal 250 m³/h, disponiendo un ducto que recorre unos 380 m aproximadamente desde el margen del *syncrolift* hasta el recinto a construir. El conducto se instala sobre rejillas pluviales semisoterradas.

El ducto se materializa en acero o en polietileno de alta densidad (PEAD) que son los materiales de tubería más comúnmente utilizados en proyectos de dragado. En algunos casos, para largas distancias de transporte, puede resultar necesario instalar bombas de refuerzo (para aumentar la presión) a lo largo del trazado de las tuberías. La distancia máxima a la que se puede transportar el material dragado hidráulicamente puede oscilar entre 3 y 10 km (USACE, 2008).

Recinto de separación física

Como consecuencia del bombeo hidráulico, el material ha incorporado hasta 5 veces su volumen en agua y no puede ser enviado en esas condiciones al tratamiento biológico, por lo que el “sedimento dragado debe solidificarse o el agua debe separarse de las partículas de sedimento para procesar el material dragado para su eliminación, uso beneficioso o tratamiento. Hay dos tipos de métodos de deshidratación: pasivos y mecánicos.” (FRTR, 2021). En este caso, se selecciona un método pasivo que consiste en la construcción de un recinto de decantación del sedimento.

Luego de la extracción del *syncrolift*, el sedimento y el agua son conducidos al sector de separación física. Para el presente proyecto se instalan dos piletas que funcionan en batch, para asegurar el tiempo suficiente de retención y separación de fases. Completado un proceso de llenado, se descarga el sedimento en la siguiente. La superficie destinada al sector de tratamiento es de 1700 m².

Cada pileta será diseñada conforme la recomendación general de una pileta API (relación 5:1), contando con 2 m de profundidad, y 10 m de largo y ancho, lo que genera un área de 200 m² y un volumen máximo de llenado de 400 m³ por ciclo.

Cada pileta contará con dos tabiques verticales para favorecer, principalmente la decantación del sedimento, y por otro lado, para la eventual separación de hidrocarburos que pudieran sobrenadar (Figura 16).

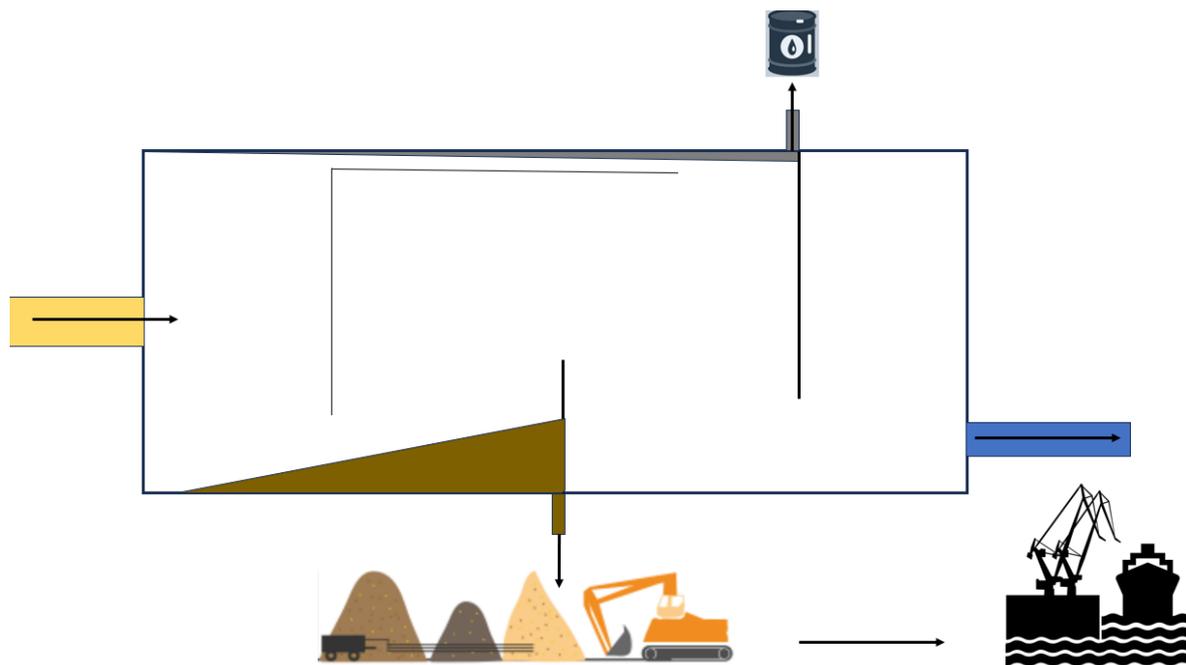


Figura 16. Esquema del diseño del recinto y destino de las corrientes. Fuente: elaboración propia.

Para la depositación del sedimento se requiere de un tiempo de retención que se estima en 12 a 24 hs. La tasa de sedimentación estimada para el Puerto Buenos Aires es de 1 mm/s (INA, 2019). No obstante lo señalado, el tiempo de retención estimado, se puede ajustar luego de los primeros ciclos de llenado.

Considerando que el volumen total a dragar puede llegar a los 140.000 m³ (23.000 de sedimento y 117.000 m³ de agua), será necesario realizar 175 ciclos de llenado aproximadamente de cada pileta. En caso de realizar un proceso de llenado cada 24 hs (contemplando el tiempo para el vaciado de cada pileta), se estima una duración del proceso de aproximadamente 6 meses.

Es de esperarse que, en el proceso de bombeo y descarga del material a dragar, una parte del hidrocarburo retenido en el sedimento se particione del mismo y, con el tiempo de retención necesario para que decante el sedimento, se pueda producir un sobrenadante de hidrocarburo factible de ser retirado de las piletas, para su envío a recuperación o disposición final.

Luego, se descarga el agua por gravedad hacia la dársena contigua. El sedimento del fondo de la pileta, debe ser removido con métodos mecánicos y manuales para su posterior tratamiento en biopilas. Una vez realizado este proceso, se genera otro ciclo de llenado.

A continuación, se describen, las siguientes etapas del sistema de tratamiento, en primer lugar el agua, y luego el sedimento.

Vuelco de agua

Luego del tiempo de retención en la pileta, el agua puede ser volcada por gravedad a la dársena contigua.

Si bien los muestreos de calidad de agua tomados en la zona del *syncrolift* cumplen con la calidad de vertido recomendada en la norma, y serán volcadas a un sitio contiguo de similares características ambientales, se considera necesario realizar un muestreo en los primeros ciclos de descarga. Puede generarse una partición de moléculas asociadas al sedimento de algunos metales pesados o hidrocarburos al momento de la mezcla durante el bombeo, que impacten en la calidad del efluente vertido, con lo cual se recomienda realizar muestreos para verificar la calidad del vuelco bajo norma.

Tratamiento biológico del sedimento. Instalación de eliminación confinada en zona costera contigua.

Biopilas

Luego de la descarga del agua del recinto, se procede a remover el sedimento decantado con una Pala Cargadora, completando la remoción manualmente, y luego disponiendo el sedimento en un camión con tolvas que lo depositen en el sector contiguo, para conformar las biopilas.

El sector disponible en el predio para la realización de las biopilas es de aproximadamente 15.000 m².

Preparación de la base

Para la base de la biopila, se prevé la impermeabilización del suelo con una capa de arcilla compactada, ello a fin de evitar la eventual lixiviación o migración de contaminantes al suelo.

La aireación se realiza mediante métodos pasivos, sin inyección de aire, utilizando maquinaria para su agitación periódica.

Generalmente se recomienda que el suelo tenga un contenido de agua entre 70 y 90 %, lo cual es el contenido normal de agua en el sedimento. En caso de requerirse agua adicional, se puede utilizar el agua obtenida del recinto de tratamiento.

Se considera que resultará necesaria la adición de nutrientes, ya que el sedimento no cuenta naturalmente con suficiente materia orgánica, nitrógeno y fósforo. En caso de ser necesario, podrán adicionarse, por ejemplo, junto con la incorporación de agua. Asimismo, podrá utilizarse el agua del propio sistema de tratamiento para la humectación e incorporación de nutrientes.

El diseño del sector de biopilas puede generar lixiviados, para lo cual se requiere la construcción de un sistema de colección, que consta de una tubería perforada en la base de la biopila del lado de la pendiente. Si la biopila se construye con la humedad requerida no se producen lixiviados.

Las biopilas se cubrirán con una capa de polietileno, para protegerlas de eventuales variaciones de temperatura y precipitaciones.

Se considera necesario, tomar muestras de suelo 1 vez por semana, en cada lado de la biopila para determinar los niveles de HTP removidos, y, en caso de no alcanzar una eficiencia adecuada, muestrear adicionalmente nitrógeno, fósforo y densidad de población de las bacterias, para evaluar la necesidad de su incorporación al sistema.

Si bien el objetivo es disminuir la concentración de HTP, ya que los HAP hallados en el sedimento ya alcanzan los niveles guía recomendados por la norma para su descarga en aguas abiertas (Categoría B), en las biopilas también podrán degradarse los HAP, generando un beneficio ambiental adicional.

En este caso, dado que las concentraciones de HTP no son tan elevadas, no se considera necesario incorporar sistemas de colección de vapores o filtros de carbón activado.

El tiempo de tratamiento en las biopilas propuesta para alcanzar los niveles objetivo, es de 1 a 2 meses (dependiendo de las temperaturas en el periodo del año a realizar la actividad), ya que durante la operación el promedio de la tasa de biodegradación que espera alcanzarse es de 40 mg/kg/día de hidrocarburos (Iturbe, 2001).

Disposición del material en dársena contigua

Para la descarga del sedimento ya tratado, se construye un recinto semiconfinado en agua en una dársena contigua al sitio de dragado, que pertenece al mismo astillero.

El recinto de refulado se instala desde el Muelle C hacia el Muelle A (Figura 17), el Muelle B está conformado por dos *dolphins* que se encuentran en mal estado de conservación y no son utilizados, los cuales quedarán contenidos dentro del recinto de refulado. Adicionalmente, el recinto permitirá reforzar la estabilidad del sector.

Los Muelles A y C se podrán seguir utilizando, con mayor estabilidad, para reparaciones de navíos sobre el agua y para amarrar navíos en espera de ingreso al astillero.

La superficie del recinto de refulado (en amarillo) se estima en 3.900 m². De esta manera, y considerando la profundidad media, se podrá disponer de un volumen residual para futuras operaciones de dragados de mantenimiento (los cuales pueden realizarse cada 2 años).



Figura 17. Vistas sobre fotografías del diseño conceptual del recinto sobre los muelles contiguos.
Fuente: elaboración propia.

El recinto a construir en la dársena es semipermeable para permitir la difusión del agua restante y la retención del sedimento sólido. Se construirá un doble tablestacado sobre el cual se dispondrán gaviones hasta nivel de pleamar fabricados con malla de alambre y rellenos de escombros.

En caso de que el sedimento cuente con trazas de hidrocarburos residuales, que no se hayan removido durante el tratamiento, es esperable que permanezcan retenidos en el sedimento en el recinto y que sólo una fracción se particione en agua, sin superar los límites establecidos de calidad del agua.

6. PLAN DE GESTIÓN AMBIENTAL

Durante las operaciones de dragado y de descarga, resulta necesaria la realización de muestreos y otras medidas de seguimiento, que permitan verificar el adecuado desarrollo de las actividades.

Las medidas a implementar se agrupan en tres programas generales. En primer lugar, se presentan las actividades a realizar durante las actividades de dragado y la evaluación del tratamiento. En segunda instancia, se presentan otras acciones de control a desarrollar durante el tratamiento del sedimento, y un tercer programa que reagrupa las acciones a realizar durante la descarga y con posterioridad a la obra.

Por último, si bien no se desarrolla en el presente trabajo, se considera necesario recomendar al astillero que implemente un Programa de producción sustentable, tendiente a mejorar el desempeño ambiental de sus procesos productivos. De esta manera, se puede reducir el aporte de compuestos o sustancias peligrosas al sedimento, y simplificar el sistema de dragado de mantenimiento para futuros requerimientos.

6.1 Programa de monitoreo durante las actividades de dragado

El objetivo del programa es medir la efectividad del dragado y asegurar el cumplimiento de los requisitos normativos. El monitoreo durante las operaciones de dragado se realiza para

evaluar la calidad de sedimentos, la resuspensión y la eventual liberación de contaminantes al agua, y los impactos a corto plazo, que puedan generar riesgos para la salud humana y el ambiente.

La selección de los componentes a monitorear, toma como referencia las recomendaciones de USACE (2008) y la Res. OPDS.

BATIMETRÍA	
Objetivo	Ubicación
Verificar el avance del dragado hacia la profundidad objetivo (10m) y la duración de las actividades.	Syncrolift
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
<ul style="list-style-type: none"> - Al cumplir el primer mes de actividades - Al finalizar el dragado 	Los datos de batimetría se pueden obtener utilizando instrumentos acústicos y un GPS.

TURBIDEZ y SST	
Objetivo	Ubicación
Evaluar la resuspensión y el transporte de sedimentos y contaminantes y evaluar el cumplimiento de lo establecido en la Res. OPDS.	Aguas abajo del Syncrolift. Dos estaciones de muestreo.
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
Continua (sonda para turbidez) y/o diaria (laboratorio para SST). En caso de hallarse una correlación entre los parámetros turbidez y SST, podrá utilizarse la medición de turbidez como referencia, espaciando los muestreos diarios.	Mediante la instalación de sondas de medición en tiempo real (turbidez). Enviando muestras a laboratorio para SST
Observaciones	

Durante la ejecución de las actividades de dragado en áreas sensibles, las concentraciones de los analitos, turbidez y sólidos suspendidos totales, no podrán superar el veinte por ciento (20%) de la concentración media de los valores informados en el Plan de Gestión Ambiental (PGA) y/o de aquellos valores medios típicos que surjan de los antecedentes disponibles, incluyendo la variabilidad estacional y las fluctuaciones naturales causadas por eventos hidroclimáticos naturales o acciones antrópicas no relacionadas con el dragado.

Para el sector de obra, dichas concentraciones no podrán superar el cincuenta por ciento (50%).

Se deberá establecer previamente a las actividades, los valores “alerta” y “crítico” para ambos parámetros, a fin de preestablecer un sistema de respuesta al evento de condición crítica que implicará, entre otros protocolos, la disminución del ritmo o intensidad de las actividades de dragado o incluso su suspensión temporaria.

CALIDAD DEL AGUA	
Objetivo	Ubicación
Evaluar la calidad del agua en la zona de dragado, en cumplimiento de lo establecido en la Res. OPDS.	Aguas abajo del Syncrolift. Dos estaciones de muestreo.
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
Semanal. Podrá espaciarse en caso de verificarse homogeneidad en los resultados.	Completo, conforme los parámetros establecidos en la Res. OPDS. Mediante laboratorio certificado.
Observaciones	
El muestreo completo de calidad de agua se realizará en forma semanal durante las operaciones de dragado. De modo asociado se considerará el estado de marea a través del registro de niveles de todas las estaciones ubicadas en el entorno del área de estudio.	

VIENTO, CORRIENTES Y MAREAS	
Objetivo	Ubicación
Evaluar los cambios de estas variables que puedan ocurrir durante las operaciones de dragado, que puedan favorecer la resuspensión y la liberación de contaminantes.	En el muelle sobre el syncrolift.
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
Continua o al menos dos veces al día.	Mediante sondas de monitoreo continuo in situ o móviles.
Observaciones	
Bajo ciertas condiciones (sudestadas, bajantes extremas del Río de la Plata), que deberán establecerse con precisión con anterioridad al inicio de las actividades, puede ser necesario suspender las operaciones de dragado.	

6.2 Monitoreo del sistema de tratamiento

Tal como fuera señalado en la Memoria Descriptiva del sistema del tratamiento del dragado, se deben realizar monitoreos sobre distintas instancias del proceso, a fin de evaluar su efectividad y realizar los ajustes que pudieran corresponder.

CALIDAD DEL EFLUENTE LÍQUIDO	
Objetivo	Ubicación
Evaluar la calidad del vuelco del agua, luego del proceso de separación del efluente, para verificar el cumplimiento de los parámetros de descarga.	En el recinto de separación física.
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
Durante los primeros 2 ciclos, un muestreo de cada proceso (batch). Luego se podrá realizar un muestreo	Completo, conforme los parámetros establecidos en la Res. OPDS. Mediante laboratorio certificado.

<p>semanal. Podrá espaciarse en caso de verificarse homogeneidad en los resultados.</p>	
---	--

BIOPILAS	
Objetivo	Ubicación
Evaluar la efectividad del proceso biológico de reducción de hidrocarburos, y la calidad del sedimento previa a su descarga en la dársena.	Biopilas
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
<p>Semanal. Podrá espaciarse en caso de verificarse homogeneidad en los resultados.</p>	<p>Materia orgánica, nitrógeno y fósforo, microorganismos, HTP. Mediante laboratorio certificado.</p>

6.3 Monitoreo posterior al dragado

CALIDAD DEL AGUA	
Objetivo	Ubicación
Evaluar la calidad del agua en la zona de dragado, en cumplimiento de lo establecido en la Res. OPDS.	Aguas abajo del Syncrolift. Dos estaciones de muestreo.
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
<p>Semanal. Podrá espaciarse en caso de verificarse homogeneidad en los resultados.</p>	<p>Completo, conforme los parámetros establecidos en la Res. OPDS. Mediante laboratorio certificado.</p>

Observaciones
El muestreo completo de calidad de agua se realizará en forma semanal durante las operaciones de dragado. De modo asociado se considerará el estado de marea a través del registro de niveles de todas las estaciones ubicadas en el entorno del área de estudio.

CALIDAD DEL SEDIMENTO	
Objetivo	Ubicación
Evaluar la calidad del sedimento, en cumplimiento de lo establecido en la Res. OPDS.	En el syncrolift.
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
Un muestreo en dos estaciones, al finalizar las actividades de dragado.	Completo, conforme los parámetros establecidos en la Res. OPDS. Mediante laboratorio certificado.

RECINTO DE DESCARGA DE MATERIAL TRATADO	
Objetivo	Ubicación
Evaluar la integridad estructural del recinto de descarga y la calidad del sedimento depositado, en cumplimiento de lo establecido en la Res. OPDS.	Recinto de descarga del sedimento, en dársena del astillero.
Frecuencia	Parámetros/ Equipamiento
Un muestreo durante las actividades de descarga, y uno al finalizar las actividades.	Completo, conforme los parámetros establecidos en la Res. OPDS. Mediante laboratorio certificado.
Observaciones	

Además de la evaluación de los parámetros físico-químicos, se deberá evaluar la estructura del recinto construido.

7. CONCLUSIONES

El proyecto desarrollado en el presente trabajo, así como su plan de monitoreo y seguimiento, pueden resultar de utilidad como sistema de tratamiento y disposición, para las actividades de dragado de rutina que se realizan especialmente en zonas portuarias del Río de la Plata, como el Puertos de Buenos Aires y Dock Sud.

Habitualmente, en estas actividades de dragado, se realiza la descarga del material en aguas abiertas del Río de la Plata. No obstante, las tendencias internacionales en materia de gestión del material dragado, apuntan a estrategias que promuevan su reuso, reduciendo el impacto ambiental del transporte y descargas del sedimento. Especialmente, en los procedimientos internacionales (CEDEX, 2015), se promueve el uso del sedimento en las mismas zonas portuarias, como rellenos costeros, nivelaciones, etc., tal como la solución presentada en este estudio.

Por último, se considera necesaria la adopción de una norma específica que regule la actividad de dragado en estos puertos, considerando particularmente las actividades desarrolladas, los altos requerimientos de dragado, y las condiciones naturales del Río de la Plata. Especialmente, resultaría de interés el establecimiento de niveles guía de calidad de agua y sedimentos, basadas en el análisis de numerosos muestreos de ambas matrices realizadas durante las actividades de dragado, que permitan definir niveles sitio específicos, tanto para parámetros físico-químicos, como biológicos.

BIBLIOGRAFÍA

- Autoridad de Cuenca Matanza Riachuelo ACUMAR- (2016) Caracterización planialtimétrica y de las condiciones fisicoquímicas de los sedimentos y suelos del fondo del cauce del tramo rectificado Matanza-Riachuelo. Informe final. Etapa 4. Evaluación y presentación de los resultados de los estudios de campo y de laboratorio para cada uno de los seis sectores contemplados en el tramo rectificado del Matanza-Riachuelo. Realizado por EVARSA y Justo Dome & Asociados.
- ACUMAR (2017) Caracterización planialtimétrica y de las condiciones físico-químicas de los sedimentos y suelos del fondo del cauce del tramo rectificado del Matanza-Riachuelo. Presentación de la Dirección General Técnica, Coordinación de Calidad Ambiental.
- Administración General de Puertos -AGP- (2023). Recuperado en julio de 2023
<https://www.argentina.gob.ar/transporte/administracion-general-puertos-se/puertos>
- Alba López, G.I. (2011) Estudio comparativo de tres diferentes métodos de remediación de suelo contaminado con hidrocarburo. Trabajo realizado en el Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico en Electroquímica S. C (CIDETEQ), bajo la dirección de la Dra. Erika Bustos Bustos.
- Auge M. (2004) Hidrogeología de la Ciudad de Buenos Aires. Material de Cátedra. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Universidad de Buenos Aires.
- Batley, G. E., Burton, G. A., Chapman, P. M., & Forbes, V. E. (2002). Uncertainties in sediment quality weight-of-evidence (WOE) assessments. *Human and Ecological Risk Assessment*, 8(7), 1517-1547.
- Bianchi A. y Cravero S., (2010), Atlas Climático de la República Argentina, ed. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA)
- Brasil Choueri, R. (2008). Armonización del protocolo de evaluación de calidad de sedimentos y materiales dragados en zonas de estuarios y portuarias del Atlántico. Tesis doctoral. Universidad de Cadiz. Disponible en: <https://rodin.uca.es/handle/10498/15692>
- Cardini, J., Garea, M. Y Campos, M. (2002) "Modelación del transporte de sedimentos puestos en suspensión por actividades de dragado en el Río de la Plata, para la generación en tiempo real de pronósticos de afectación de áreas costeras", Mecánica computacional Volumen XXI, Santa Fé, Argentina, pp 2325
- Carsen, A., Perdomo, A. & Arriola, M. (2005). "Contaminación de Sedimentos del Río de la Plata y su Frente Marítimo". Publicado en FREPLATA: Protección ambiental del Río de la Plata y su frente marítimo: Preservación y control de la contaminación y restauración de hábitats, Pp 4
- Central Dredging Association -CEDA-.(2012) HR Wallingford. Reino Unido
- Colombo, J.C., Cappelletti, N., Laschi, I., Migoya, M.C., Speranza, E. & Skorupa, C.N. (2006). Sources vertical fluxes and equivalent toxicity of aromatic hydrocarbons in coastal sediments of the Río de la Plata Estuary, Argentina. *Environ. Sci. Technol.*, 40(3): 734-740.
- Colacicco, A., De Gioannis, G., Muntoni, A., Pettinao, E., Poletti, A., & Pomi, R. (2010). Enhanced electrokinetic treatment of marine sediments contaminated by heavy metals and PAHs. *Chemosphere*, 81(1), 46-56.

- Dabas, M. I. (2012). Criterios de calidad de sedimentos en la vía navegable troncal. In *Asociación Argentina de Ingenieros Portuarios. VII Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria*.
- Dabas M. (2014) “Tráfico de buques en el Río de la Plata” VIII Congreso Argentino de Ingeniería Portuaria –5, 6 y 7 de mayo de 2014
- Doni, S., Macci, C., Martinelli, C., Iannelli, R., Brignoli, P., Lampis, S., Andreollid, M., Vallinid, G. & Masciandaro, G. (2018). Combination of sediment washing and bioactivators as a potential strategy for dredged marine sediment recovery. *Ecological Engineering*, 125, 26-37.
- Fabrizio De Iorio, A., Rendina A. E., Cetrángolo, H., Mozeris G. (2012) Informe técnico preliminar a considerar en la implementación de actividades del proyecto de dragado de sedimentos del Riachuelo y relocalización del material dragado en aguas del Río de la Plata. Cátedras de Química Analítica y Sistemas Agroalimentarios. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía.
- Fahnestock-Von F.M. (1998). “Biopile design operation” Battelle Press.
- Environmental Protection Agency -EPA- (1993). “*Remediation Technologies Screening Matrix and Reference Guide*”. Disponible en https://frtr.gov/matrix2/section3/table3_2.pdf (versión actualizada en 2020)
- EPA-(2001) Methods for Collection, Storage and Manipulation of Sediments for Chemical and Toxicological Analyses: Technical Manual. Office of Science & Technology Office of Water. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC 20460.
- FREPLATA. (2011). “*Estudio de la Dinámica Hidrosedimentológica del Río de la Plata: Observación y modelación numérica de los sedimentos finos*”. Disponible en: http://www.freplata.org/documentos/22setFFEMmanual_freplata.pdf
- FREPLATA (2005) Análisis diagnóstico transfronterizo del Río de la Plata y su frente marítimo (2005). Proyecto “Protección Ambiental del Río de la Plata y su Frente Marítimo: Prevención y Control de la Contaminación y Restauración de Hábitats”. Comisión Administradora del Río de la Plata - CARP y Comisión Técnica Mixta del Frente Marítimo - CTMFM. Montevideo, Uruguay.
- García, A. R.(2011) “Removilización de metales pesados por procesos de resuspensión de sedimentos contaminados del Riachuelo y sus posibles consecuencias en las actividades de dragado”. Trabajo de intensificación para acceder al título de Licenciada en Ciencias Ambientales. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Agronomía.
- Instituto Geográfico Nacional -IGN-. (2017). Comparación de orígenes altimétricos en la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en: https://ramsac.ign.gob.ar/posgar07_pg_web/documentos/Vinculacion_altimetrica_IGN_CABA.pdf
- Instituto Nacional del Agua y del Ambiente y Administración General De Puertos S. E. INA-AGP (1995) Estudio para la determinación de Valores Guía, Criterios de Calidad y Procedimientos para el manejo de sedimentos a dragar. Convenio.
- Iturbe-Argüelles R, Flores-Torres C., Chávez-López C., Roldán-Martín A. (2001) “Saneamiento de suelos contaminados con hidrocarburos mediante biopilas” Instituto de Ingeniería Universidad Autónoma de México.
- Juwarkar, A. A., Singh, S. K., & Mudhoo, A. (2010). A comprehensive overview of elements in bioremediation. *Reviews in Environmental Science and bio/technology*, 9(3), 215-288.

- Landaeta, C. J. (1999). Potenciales impactos ambientales generados por el dragado y la descarga del material dragado Revista Ingeniería UC, Valencia, Venezuela Disponible en <http://servicio.bc.uc.edu.ve/ingenieria/revista/a5n2/5-2-3.pdf>
- Lencina, G., Lahorca, R., Alí, M. S., & Gauna, A. (2011) Extracción y Tratamiento de Sedimentos de Ríos Contaminados. Revista Ciencia, Vol. 6, No 24.
- Lorenzetti, Y., Grillo-Puertas, M., Scaravaglio, O. R., Cerioni, L., Volentini, S. I., & Rodríguez Montelongo, L. (2012). Biorremediación de suelos y aguas contaminadas con cobre. In VII congreso de medio ambiente.
- Mattei, P., Cincinelli, A., Martellini, T., Natalini, R., Pascale, E., & Renella, G. (2016). Reclamation of river dredged sediments polluted by PAHs by co-composting with green waste. Science of the Total Environment, 566, 567-574.
- Mazzeo N.A. (2004) "Contaminación del Aire en el Gran Buenos Aires por NOx y CO emitidos en la Ciudad de Buenos Aires"
- Peluso, M.(2011). "*Evaluación de efectos biológicos y biodisponibilidad de contaminantes en sedimentos del Río de la Plata y afluentes*" Centro de Investigaciones del Medio Ambiente, CIMA, Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de la Plata. Disponible en: http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/18420/Documento_completo_%2520Peluso_%2520reducida.pdf%3Fsequence%3D1
- Perelo, L. (2010) "Review: in situ and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments", Journal of Hazardous Materials, Pages 81-89. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/41412938_Review_In_situ_and_bioremediation_of_organic_pollutants_in_aquatic_sediments
- Pereyra, F. X. (2004) "Geología urbana del área metropolitana bonaerense y su influencia en la problemática ambiental", Revista de la Asociación Geológica Argentina
- Pica Granados, Y. & Trujillo Dominguez, G. (2008). Procedimiento para la generación de extractos orgánicos y elutriados de suelos y sedimentos para su análisis en ensayos de toxicidad. Ensayos Toxicológicos para la Evaluación de Sustancias Químicas en Agua y Suelo, 371-382.
- Olguín, E. J., Hernández, M. E., & Sánchez-Galván, G. (2007). Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. Revista internacional de contaminación ambiental, 23(3), 139-154.
- Organization for Economic Co-operation and Development -OECD-. (2002). OECD guidelines for the testing of chemicals, revised proposal for a new guideline 312, Leaching in Soil Columns.
- Rienks, J. (1998). Comparison of results for chemical and thermal treatment of contaminated dredged sediments. Water science and technology, 37(6-7), 355-362. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0273122398002182>
- Rodríguez Salemi, V. (2011). "*Removilización de metales pesados por procesos de resuspensión de sedimentos contaminados del riachuelo y sus posibles consecuencias en medidas de saneamiento*", Facultad de Agronomía, Universidad de Buenos Aires, Argentina. Pp. 6,7
- Rozas, F., Castillo, A., Martínez, I., Castellote, M. (2018). "*Protocolo de valorización de residuos en la fabricación de materiales de base cemento: sedimentos dragados como componente de hormigón autocompactante*". Congresos de la Universitat Politècnica de València, HAC2018 - V Congreso Iberoamericano de Hormigón Autocompactable y Hormigones Especiales. Disponible en: <http://ocs.editorial.upv.es/index.php/HAC-BAC/HAC2018/paper/viewFile/5637/3340>

Rozas, F., Castillo, A., Martínez, I., & Castellote, M. (2015). Guidelines for assessing the valorization of a waste into cementitious material: dredged sediment for production of self compacting concrete. *Materiales de Construcción*, 65(319), e057-e057. Institute of Construction Science "Eduardo Torroja" (IETcc-CSIC). Madrid, Spain.

Servicio Meteorológico Nacional. Consulta web de climatogramas por estación meteorológica. Disponible en <https://www.smn.gov.ar/estadisticas>

Schroeder, P. R. (2009). USACE Technical Guidelines for Predicting the 3Rs of Environmental Dredging. In *Proceedings XXIXth Western Dredging Congress* (pp. 311-330).

U.S. Army Corps of Engineers -USACE- (2008) Technical Guidelines for Environmental Dredging of Contaminated Sediments. 302 pp. Recuperado en julio 2023 en: <https://www.frtr.gov/matrix/documents/Dredged-Material-Processing-Technologies/2008-Technical-Guidelines-for-Environmental-Dredging-of-Contaminated-Sediments.pdf>

U.S. Army Corps of Engineers -USACE- (2002). Reclamation and Beneficial Use of Contaminated Dredged Material: Implementation Guidance for Select Options (2000) 98 pp. Recuperado en julio 2023 en: <https://www.frtr.gov/matrix/documents/Dredged-Material-Processing-Technologies/2000-Reclamation-and-Beneficial-Use-of-Contaminated-Dredge-Material.pdf>

U.S. Army Corps of Engineers -USACE- (2015). Dredging and Dredged Material Management. Recuperado en julio 2023 en: <https://www.frtr.gov/matrix/documents/Dredged-Material-Processing-Technologies/2015-Dredging-and-Dredged-Material-Management.pdf>

Van Maren, D. S., Van Kessel, T., Cronin, K., & Sittoni, L. (2015). The impact of channel deepening and dredging on estuarine sediment concentration. *Continental Shelf Research*, 95, 1–14. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.12.010>

Normativa

Internacional

Canadian Council of Ministers of the Environment (1995) Protocol for the Derivation of Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life. Report CCME EPC-98E. Canadian Sediment Quality Guidelines. Ottawa, Ontario.

CEDEX- Centro de Estudios de Experimentación de Obras Públicas (2015) Directrices para la caracterización del material dragado y su reubicación en aguas del dominio público marítimo-terrestre. COMISIÓN INTERMINISTERIAL DE ESTRATEGIAS MARINAS.

CEDEX y Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente de España (1994). Recomendaciones para la Gestión del Material Dragado en los Puertos Españoles. Puertos del Estado. Madrid.

EPA-United States Environmental Protection Agency (2005) Contaminated Sediment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites. Office of Solid Waste and Emergency Response.

CONAMA- Conselho Nacional do Meio Ambiente -Ministério do Meio Ambiente do Brasil. (1993) Dispõe sobre diretrizes gerais para a avaliação do material a ser dragado em águas jurisdicionais brasileiras, visando o gerenciamento de sua disposição.

Dutch-German Exchange (2005). Dutch-German Exchange on Dredged Material. Part 3. Hazardous substances in dredged material. German Federal Ministry of Transport, Building and Housing, Bonn; German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation und Nuclear Safety, Bonn; Dutch Ministry of Transport, Public Works and Water Management, Directorate-General Water, The Hague; Dutch Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment (VROM); Directorate-General for Environmental Protection, Department of Soil, Water and Rural Development IPC 625, The Hague.

IMO-International Marine Organization (1972) Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter/"London Convention".

IMO (1996) Protocol on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter/"London Protocol".

The Netherlands Ministry of Infrastructure and the Environment (2010) Guidance Document for Sediment Assessment. Methods to determine to what extent the realization of water quality objectives of a water system is impeded by contaminated sediments.

The Netherlands (1994) Environmental aspects of dredging. Conventions, Codes and Conditions: Marine Disposals.

Resolution Lc.52(18) On A Dredged Material Assessment Framework. Draft Dredged Material Assessment Framework

Nacional

Resolución Comisión Administradora del Río de La Plata N° 37/14. Plan de Gestión Ambiental del Canal Martín García. Modificación. Disponible en:
<https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/resoluci%C3%B3n-37-2014-240022/texto>

Provincia de Buenos Aires

Ley N° 14343. Regula la identificación de los Pasivos Ambientales. Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Disponible en: <http://www.opds.gba.gov.ar/sites/default/files/Ley%2014343.pdf>

Resolución N° 431/2019 de la Subsecretaría de Fiscalización y Evaluación Ambiental del Organismo Provincial para el Desarrollo Sostenible. Disponible en:
<https://normas.gba.gov.ar/ar-b/resolucion/2019/431/207808>

Resolución OPDS N° 263/2019 <https://normas.gba.gov.ar/ar-b/resolucion/2019/263/204675>

Ciudad Autónoma de Buenos Aires

Ley N° 6117 Ley de Gestión Ambiental de Sitios Contaminados del Gobierno de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Disponible en:
<http://www2.cedom.gob.ar/es/legislacion/normas/leyes/ley6117.html>