

SOCIEDAD CHILENA DE INGENIERÍA HIDRÁULICA

VII SEMINARIO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y OPERACIÓN PORTUARIA

MODELADO NUMÉRICO DE OPERACIONES DE DRAGADO

ROBERTO AGREDANO MARTÍN JAVIER GARCÍA ALBA

1. RESUMEN

El dragado en el interior de puertos es una actividad necesaria para el normal funcionamiento de los trabajos que allí se realizan. Pero estos pueden tener efectos secundarios sobre otras actividades a través de la pérdida de material que se produce durante las operaciones de dragado, sobretodo en el izado del material desde el fondo a la superficie. El material en suspensión puede dispersarse y afectar a comunidades biológicas, que en muchos casos son de alto valor socio-económico. Este trabajo muestra la simulación de un dragado en tiempo real para una dársena del puerto de Santander (España), además de la modelación de la dispersión y la distribución de las pérdidas de sedimentos durante el proceso de dragado.

¹ Estudiante de doctorado, Pontificia Universidad Católica de Chile, <u>ragredano@uc.cl</u>

² Investigador en Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria 'IH Cantabria'. Universidad de Cantabria, javier.garciaalba@unican.es



2. INTRODUCCIÓN

El transporte marítimo es el más económico, el de mayor eficiencia energética y el menos contaminante de todos los posibles transportes (Freire, M.J.; González, F., 2003 y 2009). En su forma más simple el dragado consiste en la excavación de material del fondo del mar, río o lago y el transporte y reubicación del material extraído en otro lugar. Se utiliza comúnmente para mejorar los pasos navegables de puertos y canales, así como también para la creación de nuevos terrenos y hábitats naturales o bien para extraer minerales de los depósitos subacuáticos. De allí que el dragado sea de vital importancia para el desarrollo sostenible de los recursos naturales, valores económicos y calidad de vida humana (Llorca, J., 1997).

El dragado es una operación necesaria para el mantenimiento de las infraestructuras en el medio marino y fluvial, y de su realización depende el desarrollo de los puertos y del tráfico marítimo (Hamburger, P., 2002). La actual tendencia es al aumento de las dimensiones de las embarcaciones, lo que obliga generalmente al dragado.

Por su propia naturaleza el dragado producirá un impacto en el ambiente. Los proyectos de dragado se llevan a cabo para alterar el sistema acuático de acuerdo a lo deseado, lo que inevitablemente tiene un efecto sobre ese ecosistema (CEDA, 2010).El ambiente conjunto, agua marina y agua fresca, que se da en muchas áreas litorales donde es necesario el dragado, es una compleja combinación de características naturales y fenómenos que sostienen un ecosistema acuático diverso. Por esto, la predicción de efectos producidos por la intervención humana y las operaciones de corto plazo puede ser extremadamente difícil.

Debido a la complejidad del sistema en el que el dragado se lleva a cabo, cada proyecto es único. Deben tenerse en cuenta las condiciones locales y naturales y los efectos deberían evaluarse con relación a la dinámica y las fluctuaciones naturales. Esto incluye la hidrodinámica (inclusive tormentas), ecología y calidad sedimentaria. Además, las funciones legislativas y socioeconómicas tales como el transporte marítimo y las pesqueras deberían tenerse en cuenta.

Dentro del amplio abanico de maquinaria para dragado, las dragas de cuchara son las más utilizadas, sobretodo en Norteamérica y Asia. Según datos de 1994, las dragas mecánicas representan el 40% de la flota mundial, siendo las dragas de cuchara las segundas más abundantes por detrás de las dragas cortadoras (Llorca, J., 1997). Para este trabajo se eligió la draga tipo cuchara por su abundancia y porque son utilizadas en general para trabajos de volúmenes pequeños, donde no pueden movilizarse otras máquinas o el costo de movilización es muy alto (Sanz, C, 2001). Por esto son especialmente idóneas para el mantenimiento de puertos y muelles entre otros. Pueden dragar gran cantidad de materiales obteniéndose un rendimiento máximo en suelos poco cohesivos.

El objetivo de este trabajo es presentar un modelo de dragado en continuo con evolución de la batimetría en tiempo real, y estudiar el transporte de sedimentos derivados de las pérdidas de material durante los procesos de dragado. Se identificarán las áreas de deposición del material y su relación con las forzantes de marea y flujo del río. En primer lugar se evalúa la fiabilidad del modelo mediante una serie de casos teóricos controlados en los que se han aplicado diferentes forzantes, conjuntos o por separado, como son la presencia de descarga de ríos y/o mareas. Estos casos se han simulado en condiciones batimétricas sencillas (fondo plano horizontal).



Posteriormente se presenta la aplicación del modelo a una zona real dentro de la Bahía de Santander (España), concretamente la zona Este de la Dársena de Raos, en la que se planifican dragados para acceso de buques de gran calado (Puerto de Santander, 2012).

3. METODOLOGÍA

3.1. Descripción general del modelo. Delft3D

Delft3D (Deltares, 1999) es un sistema de modelado integrado de flujo y transporte, orientado al medioambiente acuático. En el módulo de flujo, Delft3D-FLOW, se resuelven las ecuaciones no lineales 2D (promediado en profundidad) y 3D para aguas someras (shallow water equations) que derivan de las ecuaciones tri-dimensionales de Navier-Stokes para flujo incompresible de superficie libre.

De forma general el transporte tridimensional de sedimento en suspensión se calcula resolviendo la ecuación tridimensional de advección-difusión para sedimento en suspensión:

$$\frac{\partial c^{(l)}}{\partial t} + \frac{\partial u c^{(l)}}{\partial x} + \frac{\partial v c^{(l)}}{\partial y} + \frac{\partial (w - w_s^{(l)}) c^{(l)}}{\partial z} +$$

donde:

 $c^{(l)}$

concentración de masa de la fracción de sedimento (l) [kg/m³].

<i>u</i> , <i>v</i> , <i>y w</i>	componentes de la velocidad de flujo [m/s].
$\varepsilon^{(l)}_{s,x}, \varepsilon^{(l)}_{s,y}, \varepsilon^{(l)}_{s,z}$	eddy diffusivities de la fracción de sedimento (l) [m²/s].
$W_{s}^{(l)}$	velocidad de sedimentación de la fracción de sedimento (l) [m/s]

3.1.1. Generación de mallas

Casos teóricos

Para los casos teóricos se usó una malla rectangular de dimensiones 502 x 102 (m²). El dominio de dragado se situó en el centro de la malla con dimensiones 38 x 10 (m²), lo suficientemente alejado de los contornos como para no verse afectado por ellos. El tamaño de celda fue de 2 x 2 (m²), coincidente con el tamaño promedio del tamaño de cuchara de la draga simulada (Figura 1, izquierda). El mallado vertical se creó con σ -model que asume que la profundidad es mucho menor que la escala horizontal, y donde la malla σ es un contorno a medida entre el fondo y la superficie libre en movimiento. El número de capas verticales es 5, donde cada capa corresponde con el 20% de la profundidad total en cada punto (Figura 1, derecha).





Figura 1: Malla horizontal (izquierda) con el área a dragar en el centro del dominio, y malla vertical (derecha) dividida en 5 capas de igual profundidad. Para casos teóricos.

Puerto de Santander. Caso Dársena de Raos

La malla horizontal (BS), correspondiente con una zona intermedia de la Bahía de Santander, es ortogonal con tamaño de celda de 51.033 x 51.033 (m²), y para la zona de dragado se creó una malla más fina (DR) de tamaño 2.835 x 2.835 (m²) ajustada al tamaño de la draga usada para la modelación. El tamaño o capacidad de la draga se ajusta a los modelos de mayor capacidad y de más fácil acceso en el mercado (W.J.Vlasblom, 2003).El mallado vertical sigue el mismo modelo que en los casos teóricos con 5 capas σ (Figura 2).



Figura 2: Malla horizontal y vertical para el Puerto de Santander; (a) área parcial de la Bahía de Santander (malla BS), (b) área a dragar, en rojo, dentro la malla DR, y (c) esquema del mallado vertical dividido en 5 capas σ.

La batimetría de la Bahía de Santander fue realizada por el Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, dentro del proyecto INNODRAVAL para la Innovación en dragado, valorización y tratamiento de sedimentos.

3.1.2. Modelado de descargas de sedimento a la columna de agua

El modelado de las descargas de sedimento a la columna de agua durante el izado de la draga se detalla en la Figura 3. Las pérdidas de material dependen de los índices de llenado y pérdidas de la cuchara considerada. Para cada capa fue necesario detallar la secuencia de descarga de sedimento donde el máximo es calculado por la ecuación en la Figura 3b.

3.2. Simulación numérica

Para evitar la generación de un archivo de entrada por cada ciclo de dragado en Delft3D (cada secuencia de una mordida de la draga en el terreno), se generó un código en Python (Figura 4) que reescribe los archivos necesarios para cada simulación reemplazando las condiciones iniciales para cada ciclo de dragado con los resultados del ciclo anterior. El recorrido de la draga se planificó en zigzag como muestra la Figura 4, de modo que cuando se alcanza la profundidad de dragado en una celda, el modelo se traslada a la celda siguiente.



En todos los casos el modelo impone la actualización de la batimetría para cada paso de tiempo, e incluye los cambios en la densidad del agua debido a los efectos de la pérdida de material en la columna de agua.



Figura 3: esquema (b) y secuencia temporal (a) por capa, desde la capa 5 (fondo) hasta la capa 1 (superficie); (c), secuencia temporal de descarga por capa; (d), paso de tiempo del dragado; (e), draga backhoe y draga de cuchara.



Figura 4: Esquema teórico del código Python para concatenar las simulaciones de Delft3D-FLOW del proceso de dragado en continuo, y recorrido de la draga por la malla. Características de las simulaciones

Se presenta una tabla con las características principales y parámetros relevantes de las simulaciones generadas, tanto para las teóricas como para la dársena Raos (Tabla 1).



	Casos teóricos	Dársena Raos
Capacidad de la cuchara de la draga	4 m ³	20 m ³
Profundidad objetivo de la zona de dragado	17 m.	14 m
Densidad el sedimento no cohesivo	2650 kgm ⁻³	2650 kgm ⁻³
Velocidad de arriado	40mmin ⁻¹	40mmin ⁻¹
Velocidad de izado	30mmin ⁻¹	30mmin ⁻¹
Tiempo de excavación de la draga	0.15 min	0.15 min
Tiempo de giro del brazo de la draga en superficie para descarga del material	0.10 min	0.10 min
Coeficiente de llenado	0.8	0.8
Coeficiente de esponjamiento	1.1	1.1
Coeficiente de pérdida de material	0.8	0.8
Paso de tiempo (Criterio de Courant)	0.01 min	0.05 min
Concentración inicial de sedimentos	0 kgm ⁻³	0 kgm ⁻³

Tabla 1: Características de las simulaciones.

La densidad del sedimento se ajusta al material presente en la zona real donde se proyecta la simulación, que determina a su vez los coeficientes de llenado, esponjamiento y vaciado o pérdida. Estos fueron obtenidos del análisis de muestras obtenidas in situ en la dársena Raos del Puerto de Santander. Los tiempos y velocidades de maniobras son las requeridas para la maquinaria seleccionada (Ortego, L., & Gracia, V., 2003) (Puertos del Estado, 2005).

3.2.1. Casos teóricos

3.2.1.1. Sin Influencia de flujo

Para este caso todos los contornos son abiertos. Se diferencian 2 casos: Caso 1 (C1) sobre dominio de fondo horizontal, plano y sedimentos no cohesivos, y Caso 2 (C2) sobre dominio con pendiente de fondo del 3% y sedimento no cohesivo.

3.2.1.2. Con Influencia de flujo

Caso 3 (C3) donde se considera descarga de un río como condición de contorno al Oeste y contornos abiertos para el resto del dominio. El río fue modelado con una descarga total de 3 m³/s, sin carga de sedimento. Se considera fondo horizontal, plano y sedimentos no cohesivos.

3.2.1.3. Con Influencia de flujo y marea

Se consideran 2 condiciones de contorno para el Caso 4 (C4), una descarga de un río al Oeste con las mismas características que el C3, y la marea al Este. La condición de marea se modeló con la forzante astronómica M2 y 35 ppt de salinidad.

3.2.2. Caso del Puerto de Santander. Dársena Raos.

Descripción del área de estudio

La Bahía de Santander está situada en la costa del mar Cantábrico y alberga el mayor estuario del de la costa norte de España con una extensión de 22.42 km². Cobra mucha importancia la presencia del Puerto de Santander que es uno de los motores económicos más importantes de la Región, y que ha visto aumentada su presencia por rellenos de la bahía. Es por esto que las actividades portuarias son de vital importancia y es necesario que se realicen en las condiciones óptimas. Tanto por la acción de las mareas como por los cursos fluviales que vierten a la Bahía, son necesarios continuaos trabajos de dragado en las dársenas y canales para asegurar la correcta y segura navegación de las embarcaciones.



Calibración de la hidrodinámica

La calibración fue realizada para niveles de la superficie, velocidades y salinidades del agua, bajo tres condiciones, (1) Hidrodinámica 2D + efectos del viento, (2) salinidad 2D + efectos del viento y, (3) salinidad 3D + efectos del viento (modelo de cierre turbulento de 10 capas). Estos datos fueron proporcionados por el grupo de Oceanografía, Estuarios y Calidad del Agua del IH Cantabria y se usaron como condición inicial.

Condiciones de contorno

Se presenta la Tabla 2 de resumen de las condiciones de contorno

CONTORNOS		
Norte (Marea)	Forzamiento astronómico	M2
	Amplitud (m)	1.84
	Salinidad (ppt)	33.2
	Concentración sedimento	0
	Perfil vertical	Uniforme
Sur (Río)	Velocidad (m/s)	0
	Salinidad (ppt)	32.5
	Concentración sedimento	0

Tabla 2: Condiciones de contorno de la malla BS para el Puerto de Santander. Dársena Raos.

4. **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1. Casos teóricos

4.1.1. Sin Influencia de flujo

Para este caso (Figura 5a) la batimetría final aparece simétrica entre Este y Oeste pero no entre Norte y Sur. La no asimetría se debe a que el dragado comienza por la zona sur y por lo tanto el fondo está más tiempo expuesto a la sedimentación del material en suspensión. La simulación no duró el tiempo suficiente para que el material en suspensión, al terminar el dragado en la zona Norte, se depositara por completo. La simetría E-W es el resultado de la ausencia de forzantes externos que contribuyan a la dispersión de los sedimentos.

En la simulación C2 (Figura 5b), debido a la inclinación del fondo no es tan evidente el espesor de la capa de sedimento acumulado, aunque se puede ver una pequeña curvatura de la batimetría desde la zona de dragado hacia afuera. También hay simetría entre Este y Oeste debido a la ausencia de forzantes externas.

Aunque no se muestra en este documento, también se realizaron simulaciones sobre sedimento cohesivo (de densidad 1280 Kg/m³) teniendo resultados similares a aquellos con sedimento nocohesivo en cuanto a distribución, excepto porque los volúmenes sedimentados son mucho menores, casi despreciables, ya que la velocidad de sedimentación para sedimentos cohesivos es muy pequeña y permanecen mucho más tiempo dentro de la columna de agua.

4.1.2. Con Influencia de flujo

Para el caso C3 con descarga de un río (Figura 5.c), al final de la simulación la acumulación de sedimentos hacia el Este de la zona de dragado es mayor. Además, la zona de dragado por el



Oeste sufre un proceso de erosión causado por la velocidad del flujo horizontal cerca del fondo, resultando en pendientes de talud más suaves respecto de pendientes más empinadas en el límite Este del dragado. Este hecho claramente muestra la direccionalidad del flujo por la descarga del río para este caso.

4.1.3. Con Influencia de flujo y marea

Considerando las dos forzantes, descarga de río y marea (C4), los resultados (Figura 5.d) muestran que la descarga del río es dominante. La acumulación de sedimentos en el fondo alcanza el límite del contorno Este. La duración de la simulación fue de 12 horas y 40 minutos (un ciclo de marea semidiurna) de modo que hay un período de la simulación en el que la marea y la descarga del río tienen la misma dirección ayudando al transporte de sedimentos desde el Oeste al Este. Las pendientes de excavación al final del dragado son más suaves al Oeste por dominancia del río frente a la marea.



Figura 5: batimetría después del dragado para los casos teóricos. (a) Caso C1 sin forzantes sobre fondo plano, (b) Caso C2 sin forzantes sobre fondo con pendiente, (c) Caso C3 con entrada de río por el Oeste, y (d) Caso C4 con entrada de río por el Oeste y marea por el contorno Este.

En términos de volúmenes movidos en cada simulación, en la Tabla 3 se muestran los volúmenes de material dragado, los volúmenes de pérdidas durante el proceso de izado de la draga y el volumen sedimentado en el fondo. En todos los casos el volumen sedimentado es aproximadamente el 30% del volumen dragado que es consecuente con los coeficientes de esponjamiento y pérdida de material para estos casos.

Tabla 3: Volúmenes de material dragado y material sedimentado para los casos teóricos.

	C1	C2	C3	C4
Volumen de dragado (m³)	735.53	756.45	740.82	911.97
Volumen sedimentado (m³)	213.06	282.52	281.51	353.66
Volumen neto (m³)	522.46	473.93	459.31	558.31

Los resultados de las simulaciones fueron consistentes con lo esperado dependiendo del forzante aplicado en cada caso. Tanto la inclinación de las pendientes de taludes en los contornos del dragado como la distribución de sedimentos fueron representativos de la actuación de los procesos más importantes en cada simulación.



4.2. Caso del Puerto de Santander. Dársena Raos.

El dragado se planificó en dos pasadas que dragan a distinta profundidad de modo que la segunda pasada, más pequeña, queda dentro de la primera (Figura 6, izquierda). Durante el dragado, y al final del mismo, es posible ver cómo va cambiando el perfil del fondo (Figura 6, derecha). Después de la primera pasada, hasta una profundidad aproximada de 9 m, la capa de sedimentos acumulada en el perfil A-A' es de 0.37 m. Al finalizar la segunda pasada, en la que se vuelve a dragar por el mismo sector del perfil A-A' hasta una profundidad de 14 m, la capa de sedimentos acumulada en esta ocasión es de 0.12 m. Este segundo dato es el relevante para estimar la efectividad del dragado ya que define la posición final del fondo al terminar los trabajos.



Figura 6: Perfiles del fondo en la sección AA' (izquierda) dentro del Puerto de Santander, en varios tiempos específicos de la simulación.

El modelo desarrollado permite ver la evolución de la batimetría durante los trabajos de dragado (Figura 7). Gracias a la actualización de la batimetría en cada paso de tiempo, es posible calcular los volúmenes de material dragado y material sedimentado (Tabla 4) así como la distribución de los mismos.



Figura 7: Evolución de la batimetría durante el proceso de dragado. Malla BS arriba y DR abajo.

La Figura 8 sobre la malla DR, muestra una capa de sedimentos acumulados próximos al área de dragado de 0.65 m de espesor que decrece a medida q nos alejamos de la zona de trabajos.



Tabla 4: Volúmenes de material dragado y material sedimentado para el caso del Puerto de
Santander.

	Malla DR	Malla BS
Volumen de dragado (m ³)	12581.20	0
Volumen sedimentado (m³)	2764.39	553.65
Volumen neto (m³)	9816.81	553.65



Figura 8: Espesor de la excavación tomando como origen el nivel del fondo antes del dragado, y espesor del material sedimentado en todo el dominio de la malla DR.

Otra aplicación importante del modelo es conocer la evolución de la concentración de sedimentos presentes en la columna de agua en cada paso de tiempo dentro de cada ciclo de dragado. La Figura 9 muestra la evolución de la concentración de sedimentos en un perfil transversal del área de dragado durante el izado de la draga desde el fondo a la superficie, mientras que la Figura 10 muestra la distribución de sedimentos para la capa intermedia dentro del área de dragado. Estas imágenes son útiles para identificar procesos de sedimentación en casos donde exista fuerte estratificación en la columna de agua, además de que permiten calcular las velocidades de sedimentación en cada punto del dominio. Ambas figuras, 9 y 10, muestran una pequeña dispersión del material en el área cerca del dragado por lo que no se espera dispersión de gran cantidad de sedimentos a zonas alejadas del área de trabajo dentro de la bahía de Santander. Este análisis puede ser útil cuando se planifique la necesidad o no de medidas de mitigación durante los trabajos de dragado como puede ser el uso de cortinas flotantes de contención de sedimentos.

Para verificar la turbidez, en la Figura 11 se muestra la concentración de sedimentos cerca del fondo en el último instante de la simulación después de terminado el dragado. Casi todo el material en suspensión en ese instante está en el dominio DR. Sólo una pequeña porción pasa al dominio BS (Figura 11b). Esta cantidad es tan pequeña y tan cercana al área de dragado que se concluye que la dispersión de los sedimentos no es un problema para áreas sensibles o de interés ambiental dentro de la Bahía de Santander.





Figura 9: Secuencia temporal (cada 3 segundos) de un perfil del área de dragado donde se representa la concentración de sedimentos del material perdido durante el izado de la draga en un ciclo de dragado.



 VII Seminario Internacional de Ingeniería y Operación Portuaria
 San Antonio
 2016

Puertos sostenibles: el gran desafío



Figura 10: Dispersión de la pluma de sedimentos en suspensión para un ciclo de dragado en un punto dentro de la malla DR. Imágenes de la capa intermedia de la columna de agua. Secuencia de arriba abajo y de izquierda a derecha.





Figura 11: Concentración de sedimento en la capa más cercana al fondo de los dominios DR y BS.

5. CONCLUSIONES

Una vez se han analizado los resultados obtenidos para el caso de la Dársena Raos, se puede concluir que el trabajo expuesto dota de una herramienta eficaz a la hora de planificar campañas de dragado, siempre y cuando se basen en datos reales de partida para las simulaciones. De esta manera se podrán optimizar tanto las operaciones de dragado como los costes derivados de las mismas. Si bien es necesario un trabajo previo de la caracterización de la hidrodinámica, los trabajos de dragado en puertos dentro de estuarios son habituales y continuos en el tiempo. Conocer las zonas potenciales de deposición del material considerado como pérdidas en el proceso, puede evitar problemas derivados en otras zonas y consecuentemente evitar el costo asociado a tener que tratar estas incidencias.

Dentro de los procesos reproducibles por esta herramienta están, el cálculo de los volúmenes de dragado, el seguimiento de la pluma de sedimentos generada por pérdidas de material durante el izado de la draga, así como los volúmenes y zonas de deposición final de estos sedimentos.

En general, las actividades de movimientos de tierras en ingeniería son bastante delicadas debido al gran coste que suponen. En especial, en las operaciones de dragado, este hecho se incrementa por las condiciones ambientales y maquinaria específica requeridas. El mayor control del proceso y la estimación previa más exacta que se pueda conseguir serán determinantes para ser competitivos en esta industria.

Aunque la hidrodinámica si se encuentra calibrada y validada para la Bahía de Santander, en esta etapa del trabajo no se realizó una validación para la concentración y distribución de sedimentos después de un dragado real. Tal validación sería recomendable en futuros trabajos dentro del Puerto de Santander.



El presente trabajo sólo tiene en cuenta un tipo general de draga (cuchara o cazo) con un método de extracción específico para ellas, por lo que sería deseable en trabajos futuros implementar esta herramienta para otros tipos de dragas dependiendo de las necesidades de uso de cada puerto.

6. AGRADECIMIENTOS

Agradecimientos al proyecto INNODRAVAL (IPT-310000-2010-17), y a los investigadores del grupo de Oceanografía, Estuarios y Calidad del Agua del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria, por su colaboración y el aporte de datos batimétricos e hidrodinámicos de la Bahía de Santander.

7. **REFERENCIAS**

CEDA. Central Dredging Association, 2010. "El Dragado y el Medioambiente". NUESTROMAR. http://www.dredging.org.

Deltares, 1999. Delft3D-FLOW. User Manual. Tech. rep., Deltares, the Netherlands.

Freire, M.J.; González, F.,2003. Economía del transporte marítimo. Netbiblo. a Coruña.

Freire, M. J., & González, F., 2009. Tráfico marítimo y economía global (1ª ed.). Oleiros (La Coruña): Netbiblo.

Hamburger, P., 2002. In defense of dredging. PIANC Congress.

Llorca, J., 1997. Los dragados y su importancia en la ingeniería. Conferencia 15.1 Curso General de Dragados. Puertos del Estado.

Ortego, L., & Gracia, V., 2003. Técnicas de dragado en ingeniería marítima". Universitat Politècnica de Catalunya. . Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental.

Puerto de Santander, 2012. Plan Director de Infraestructuras del Puerto de Santander 2012-2022. Ministerio de Fomento. (http://www.puertosantander.es/cas/sostenibilidad.html).

Puertos del Estado., 2005. Recomendaciones para Obras Marítimas ROM 0.5-05. Recomendaciones Geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias". Capítulo IV: Aspectos Geotécnicos particulares de las distintas tipologías de Obras Marítimas y Po. Ministerio de Fomento.

Sanz, C.,2001. Manual de equipos de dragado. Ed. CLJ.

W.J.Vlasblom, P.,2003. Introduction to Dredging Equipment.