



CONAMA10
CONGRESO NACIONAL
DEL MEDIO AMBIENTE

COMUNICACIÓN TÉCNICA

Consideraciones medioambientales en la explotación de yacimientos de arena en aguas profundas

Autor: Luis Moreno Blasco¹

Institución: Asociación Española de Empresas de Ingeniería, Consultoría y Servicios Tecnológicos (Tecniberia)
e-mail: luis.moreno@snclavalin.com

Otros Autores: Ana García-Fletcher²; Cristina Pérez¹; Louw Wildschut¹

¹Dirección de Ingeniería del Agua y Medioambiente, Intecsa-Inarsa, S.A., Santa Leonor, 32, 28037-Madrid, cristina.perez@snclavalin.com; louw.wildschut@snclavalin.com

²Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, Plaza San Juan de la Cruz, s/n, 28071-Madrid, agfletcher@mma.es

RESUMEN

Este trabajo afronta el reto que supone la explotación de yacimientos singulares por el volumen de material de calidad disponible, la profundidad a la que se encuentran y las implicaciones ambientales que acarrear.

En proyectos de regeneraciones de playas, los yacimientos habitualmente utilizados se encuentran en profundidades menores de 40 m. El agotamiento de estos yacimientos junto con las crecientes limitaciones ambientales a la explotación de los mismos, ha llevado a considerar la localización y explotación de yacimientos a mayores profundidades.

La Dirección General para la Sostenibilidad de la Costa y del Mar ha iniciado, de forma sistemática, la investigación geofísica de la costa española en profundidades comprendidas entre los 40 y los 80 m, como una extensión de la información de este carácter ya disponible hasta los 40 m de profundidad.

De este ambicioso programa se deriva la investigación de posibles "*yacimientos estratégicos de arena*" en la costa mediterránea, en consonancia con el proyecto denominado "Eurosion", financiado por la Unión Europea. La investigación realizada permitió identificar el primer yacimiento estratégico de la costa española, con un volumen total de material utilizable para la lucha contra la erosión costera de unos 90 millones de metros cúbicos.

En este trabajo se describen, de manera general, los medios utilizados en la investigación de yacimientos submarinos de arena que permiten identificar y cuantificar la calidad y cantidad de la misma, para a continuación profundizar en las consideraciones medioambientales y socioeconómicas a tener en cuenta ante la potencial explotación de estos yacimientos en aguas profundas.

Palabras Clave: Yacimiento estratégico, estudio impacto ambiental, dragado

INTRODUCCIÓN

La Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar (anteriormente Dirección General de Costas) del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino ha comenzado el ejercicio sistemático de efectuar investigaciones geofísicas de la costa española a profundidades comprendidas entre los 40 m y los 80 a 100 m, según los casos, dando así continuidad a los estudios efectuados hasta profundidades de aproximadamente 40 m que se llevaron a cabo hace algunos años.

El proyecto “Eurosion” y su prolongación, el proyecto “Conscience” financiados por la Unión Europea sugieren que los Estados Miembros investiguen los denominados “yacimientos estratégicos”, con objeto de identificar fuentes de arena potencialmente utilizables, en proyectos de realimentación de playas a escala regional y a largo plazo.

En este marco, se ha desarrollado la investigación de potenciales yacimientos estratégicos de arena en los fondos marinos de la costa mediterránea española, que ha culminado con la identificación del primer yacimiento estratégico de la costa española, con un volumen total de material utilizable para la lucha contra la erosión costera de unos 90 millones de metros cúbicos.

Este artículo describe las metodologías, los equipos utilizados y los resultados obtenidos en un exitoso caso de estudio, ahondando en las consideraciones medioambientales y socioeconómicas a tener en cuenta ante la potencial explotación de yacimientos en aguas profundas.

ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la costa mediterránea española, a profundidades comprendidas entre 60 m y 100 m. (Figura 1). El área litoral próxima al área de estudio está sometida a efectos generalizados de erosión, por lo que la identificación y evaluación de yacimientos estratégicos en esta región constituye una herramienta muy valiosa para la implementación de las oportunas estrategias de Gestión Integrada de la Zona Costera.



Figura 1. Ubicación del área de estudio

CAMPAÑA DE CARACTERIZACIÓN DEL YACIMIENTO

La campaña de campo de detalle tuvo como fin la caracterización sedimentológica, bioquímica y biológica del potencial yacimiento, para la estimación del volumen de arena disponible que pudiera ser apto para su uso en proyectos de restauración de playas.

Mediante el análisis sedimentológico se obtuvo información de los espesores de las capas de sedimento y distribución del tamaño de grano en esas capas. Se caracterizaron,

además, los sedimentos superficiales del fondo marino, poniendo especial atención a la presencia o ausencia de sedimento fino o fangos.

Durante los análisis bioquímico y biológico se llevaron a cabo diferentes tipos de ensayos, tales como análisis mineralógico, presencia de contaminantes, materia orgánica y microorganismos, caracterización química y determinación de metales pesados. El análisis se completó con la identificación de las comunidades bentónicas.

Una vez determinada la calidad y cantidad de material disponible se evaluó la viabilidad de la explotación, teniendo en cuenta los criterios requeridos por la Administración para la extracción y el uso de sedimentos en la regeneración de playas.

Se establecieron un total de 279 estaciones de muestreo, repartidas por todo el área de estudio, que previamente se había dividido en 5 sectores - en adelante "polígonos" - de acuerdo con sus características y ubicación (Tabla 1).

Tabla 1. Desglose del número de estaciones de sondeo y muestras de sedimento por polígono

Polígono	Número de estaciones de sondeo	Número de muestras de sedimento
A	46	466
B	80	811
C	70	740
D	72	628
E	11	99
Total	279	2744

Campaña sedimentológica

Se diseñó una campaña específica de 279 sondeos, con un vibrocócorer capaz de penetrar hasta 6 m en el fondo marino en ausencia de roca. La ubicación de los puntos de muestreo se seleccionó cuidadosamente, teniendo en cuenta la batimetría previamente obtenida y la información geofísica de detalle de la zona.

Inmediatamente antes de la ejecución de cada sondeo se obtuvo información del fondo marino por medio de un perfilador de 3.5 kHz, lo que permitió verificar la idoneidad de la ubicación y completar posteriormente la información obtenida.

Sedimentos superficiales

El muestreo del sedimento superficial del fondo marino se realizó mediante una draga Shipeck para evaluar la calidad física y química del sedimento superficial.

Sedimentos sub-superficiales

La campaña específica de toma de muestras sub-superficiales comprendió la ejecución de 279 sondeos, con una penetración máxima esperada de 6 m. La penetración media del vibrocócorer fue de 4.8 m, superando ampliamente el mínimo de 4 m requeridos.

Los testigos recuperados en cada sondeo se dividieron en segmentos de 0.5 m de longitud. Se realizaron análisis granulométricos sobre la totalidad de las 2744 muestras recogidas, mientras que el análisis mineralógico y otro tipo de ensayos se llevaron a cabo sobre una serie de muestras seleccionadas.

Con toda la información obtenida se generaron columnas litográficas que corresponden, sondeo a sondeo, con la información recogida por el perfilador en el momento de su ejecución (Figura 2).

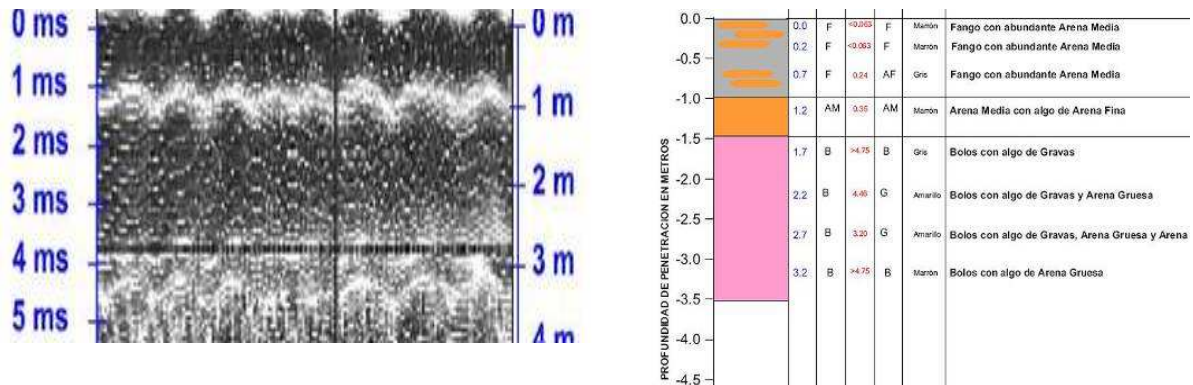


Figura 2. Ejemplo de un perfil de fondo marino y la columna litográfica correspondiente

Campaña Bioquímica

Se realizaron los análisis necesarios para determinar el grado de contaminación, tanto de los sedimentos superficiales como de los sedimentos sub-superficiales, y garantizar el cumplimiento de las normas establecidas por las Autoridades competentes en lo que a la extracción y uso de sedimentos marinos para la regeneración de playas se refiere.

Campaña de identificación de comunidades bentónicas

Durante la campaña de sondeos, previamente a la realización de cada sondeo, se capturaron imágenes de vídeo, con el fin de caracterizar las comunidades bentónicas existentes. Posteriormente se efectuaron grabaciones de vídeo en los puntos de sondeo, en trayectorias paralelas a las batimétricas de 60 m y 100 m y de forma aleatoria por todo el área de estudio.

La calidad del agua y las corrientes marinas fueron monitorizadas durante el transcurso de la campaña de sondeos.

RESULTADOS

Sedimentos superficiales

La mayoría de las muestras de sedimento superficial analizadas presenta un alto porcentaje de material fino. El porcentaje mínimo de finos sobrepasa el 50% en todos los polígonos excepto en el polígono C, donde se observa una gran dispersión de los resultado (Tabla 3). El espesor medio de la capa de material fino es del orden de 1 m, con amplias zonas en las que no está presente dicha capa.

Tabla 3. Resultados del porcentaje de material fino en los sedimentos superficiales, por polígono

Polígono	Máximo %	Mínimo %	Media %
A	66.44	55.37	59.63
B	76.85	56.82	65.84
C	76.94	12.78	62.67
D	83.90	50.02	63.73
E	84.01	80.03	82.37
Media	77.63	51.00	66.85

Sedimentos subyacentes

Los análisis mineralógicos mostraron que los sedimentos subyacentes están compuestos en más del 95% por mineral de cuarzo. Entre el 2% y el 5% corresponde a sedimento bioclástico y la parte restante a fragmentos de roca.

Los análisis granulométricos, realizados antes y después de eliminar las conchas del sedimento, dieron como resultado que el promedio de los D_{50} obtenidos en cada caso, para cada polígono apenas variaba, lo cual es consistente con el bajo contenido en sedimentos bioclásticos identificados en el análisis mineralógico (Tabla 4).

Tabla 4. Resultados del D_{50} por polígono, con y sin conchas

Polígono	D_{50} , con conchas (mm)	D_{50} , sin conchas (mm)
A	0.43	0.43
B	0.36	0.35
C	0.33	0.33
D	0.29	0.28
E	0.21	0.20
Promedio	0.32	0.32

A partir de los resultados de las columnas litográficas se generó un modelo de capas, que facilitó el cálculo del volumen de material apto para proyectos de regeneración de playas, teniendo en cuenta la distribución del tamaño de grano y la ubicación del material apto dentro del yacimiento. La Figura 4 muestra un ejemplo del modelo de capas para un polígono en particular, en el que se ha aplicado una escala de color a las categorías de tamaño de grano.

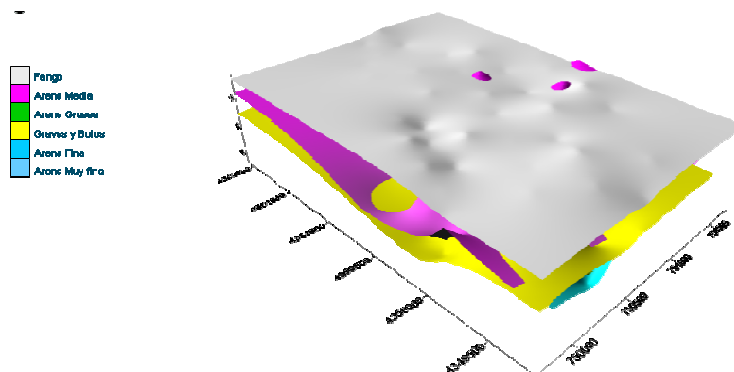


Figura 4. Ejemplo de modelo de capas para un polígono

Una vez evaluado el volumen de material disponible, por tamaño de grano y por polígono, éste se clasificó como sedimento apto o no apto para la regeneración de playas teniendo en cuenta el contenido en material fino. La Tabla 5, muestra el volumen de material apto calculado, contenido en finos y relación entre ellos.

En conclusión, se ha identificado un yacimiento estratégico con aproximadamente $90 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ de arena de gran calidad, apta para la regeneración de playas, y se ha caracterizado mediante sondeos con vibrocócorer hasta la profundidad de penetración. A pesar de que parte del yacimiento está cubierto con limo y/o fango, la ausencia de contaminación permite pensar en un amplio repertorio de potenciales usos productivos de ese material. Los resultados del perfilador muestran que a mayor profundidad el volumen de arena disponible podría ser incluso mayor.

Tabla 5. Resumen, por polígono, de áreas, volúmenes disponibles, y relación entre volumen de material sub-superficial apto para regeneración y material fino superficial

Polígono	Area (m ²)	Volumen de material apto (m ³) (1)	Volumen de material fino superficial (m ³) (2)	Ratio (1) / (2)
A	4.3 • 10 ⁶	12.0 • 10 ⁶	3.5 • 10 ⁶	3.43
B	9.0 • 10 ⁶	29.0 • 10 ⁶	8.0 • 10 ⁶	3.62
C	6.3 • 10 ⁶	25.0 • 10 ⁶	4.0 • 10 ⁶	6.25
D	5.9 • 10 ⁶	22.5 • 10 ⁶	9.5 • 10 ⁶	2.37
E	0.8 • 10 ⁶	1.0 • 10 ⁶	0.9 • 10 ⁶	1.10
Total	26.3 • 10 ⁶	89.5 • 10 ⁶	25.9 • 10 ⁶	3.46

Caracterización bioquímica

Los resultados de los análisis bioquímicos realizados sobre las muestras de sedimentos concluyen que se trata de muestras no contaminadas.

Las concentraciones de metales pesados se situaron en todos los casos, tanto la concentración máxima como la concentración media, para cada uno de los metales pesados por debajo del Nivel de Acción 1 de acuerdo con las recomendaciones del CEDEX (1994), de manera que el material puede clasificarse como “Categoría I – Sedimento no contaminado”.

Este tipo de material puede verterse libremente al mar con las correspondientes autorizaciones, con la única consideración de los efectos de tipo mecánico. Se considera que los efectos sobre la flora y la fauna marinas son nulos o insignificantes.

La arena procedente del yacimiento es apta para el dragado y su posterior uso como material de aportación a playas, según los estándares considerados en las normas españolas (Buceta, 2004).

A continuación se muestra un resumen de los resultados obtenidos en los análisis de caracterización bioquímica realizados sobre las muestras de sedimentos superficiales y sedimentos subyacentes. (Tabla 6 y Tabla 7).

Tabla 6. Resultado de la caracterización bioquímica de los sedimentos superficiales

Sedimentos superficiales	
Contenido en materia orgánica	Moderado. Relacionado con el contenido en finos. (4% de media).
Potencial redox	Positivo 35 mV – 59 mV
Policlorobifenilos	Ausentes
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Ausentes
Indicadores de contaminación fecal	Ausentes
xenobiótico (detergentes, FOG)	Ausentes
tasa de consumo de oxígeno (OCR)	Bajo
Concentración de metales pesados: Cd, Pb, Cr, Zn, Cu, y Ni	Por debajo del umbral del Nivel de Acción 1 (CEDEX, 1994)

Tabla 7. Resultado de la caracterización bioquímica de los sedimentos subyacentes

Sedimentos subyacentes	
Contenido en materia orgánica	1% de media. Disminuyendo con la profundidad.
Potencial redox	Positivo 200 mV – 30 mV
Policlorobifenilos	Ausentes
Hidrocarburos aromáticos policíclicos	Ausentes
Indicadores de contaminación fecal	Ausentes
Xenobiótico (detergentes, FOG)	Ausentes
Tasa de consumo de oxígeno (OCR)	Bajo
Concentración de metales pesados: Cd, Pb, Cr, Zn, Cu, y Ni	Por debajo del umbral del Nivel de Acción 1 (CEDEX, 1994)

Calidad del agua

Los parámetros hidrográficos en la estructura vertical de la columna de agua para el entorno son normales y reflejan valores esperados para la zona y la época en que se han realizado las medidas.

Los resultados de turbidez son moderados de manera que se puede decir que las aguas litorales presentan un grado normal de transparencia, permitiendo que los organismos autótrofos dispongan de la suficiente energía para realizar los procesos de producción primaria, acorde con la baja turbidez registrada en los perfiles de la columna de agua.

Los niveles de nutrientes muestran niveles discretos de amonio y los nutrientes restantes (nitratos y fosfatos) no se detectan.

Las muestras no presentan muestras significantes de contaminación bacteriológica, ni contaminación por metales pesados e hidrocarburos.

A continuación se la tabla resumen con los resultados obtenidos (Tabla 8):

Tabla 8. Resultado de la caracterización bioquímica de los sedimentos subyacentes

Determinación	Unidades	Estación 1				Estación 2				Estación 3			
		S	M	MF	F	S	M	MF	F	S	M	MF	F
pH	u.pH	8,1	8,1	8	8	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1	8,1
MES	mg/l	4	3	4	1	6	1	7	7	6	1	7	7
Turbidez	NTU	4,3	5,2	7,5	6,5	7	6	5,5	5	7	6	5,5	5
TOC	mg/l	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Oxígeno dis.	Mg/l	8,0	8,1	7,9	7,8	7,9	7,7	7,5	7,6	7,9	7,7	7,5	7,6
Amonio	mg/l	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,03	0,02
Nitratos	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Nitritos	mg/l	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10	<0,10
Fosfatos	mg/l	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Clorofila	mg/m ³	2,7	3,6	2,1	1,9	2,6	2,3	2,4	1,7	2,6	2,3	2,4	1,7
Col. Totales	ufc/100 ml	0	0	0	0	136	0	0	0	136	0	0	0
Col. Fecales	ufc/100 ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Estrep. Fecales	ufc/100 ml	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cadmio	mg/l	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Determinación	Unidades	Estación 1				Estación 2				Estación 3			
		S	M	MF	F	S	M	MF	F	S	M	MF	F
Cobre	mg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Mercurio	mg/l	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
Hidrocarburos	mg/l	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Comunidades bentónicas

Las comunidades bentónicas identificadas a lo largo de toda el área pertenecen a la comunidad de arenas fangosas con enclaves de detrítico enfangado. Las especies de la familia *Cirratulidae* en la comunidad macrobentónica (Figura 5) son familias de especies oportunistas que, en este caso en particular, se asocia a las condiciones naturales de la zona de estudio y no a la existencia de contaminación.

A este tipo de fondos se le asocia una comunidad ictiológica constituida por peces demersales que desarrollan aquí, totalmente o en parte, el ciclo vital.

Las especies demersales propias de la zona son el salmonete de fango (*Mullus barbatus*), merluza (*Merluccius merluccius*), Capellán (*Trisopterus minutus capellanes*), Cabete (*Lepidotrigla cavillone*), Bejel (*Aspitrigla obscura*) y Pez volador (*Dactylopterus volitans*).



Figura 5. Imagen de dos especies incluidas en la familia *Cirratulidae*

Comunidades pelágicas

Los organismos pertenecientes al necton, característicos de la costa mediterránea española, que pueden tener presencia en el área de estudio se pueden dividir en dos grupos:

Planctotróficos: Peces de pequeña talla, cuyo régimen alimentario se basa únicamente en el fitoplancton. A este grupo pertenecen especies como la sardina (*Sardina pilchardus*), la anchoa (*Engraulis encrasicolus*) y la alacha (*Sardinilla aurita*).

Piscívoros de talla grande: conocidos como grandes pelágicos, representados sobretodo por las varias especies que pertenecen a la familia *Scombridae*: Atún rojo (*Thunnus thynnus*), Albacora (*Thunnus alalunga*), Caballa (*Scomber scomber*), Estornino (*Scomber japonicus*) y Pez espada (*Xiphias gladius*).

A estas especies cabe añadir las especies que pueden alternar un régimen alimentario planctotróficos y un régimen alimentario piscívoro, que pertenecen a la familia

Carangidae: Trachurus mediterraneus y Trachurus trachurus conocidos con el nombre vulgar de jurel. Estas dos especies se caracterizan por tener una talla intermedia entre los pelágicos planctotróficos de pequeña talla y los grandes pelágicos.

Recursos pesqueros

El entorno de la zona de estudio cuenta con tres puertos pesqueros con cofradía de pescadores y lonja para la subasta del pescado: Valencia, Sagunto y Burriana. Se ha realizado un estudio de pesquerías atendiendo a los desembarcos registrados en estas lonjas.

El análisis de las capturas indica que los peces son el grupo más importante, representando casi el 90% del total desembarcado (Figura 6).

Entre los peces, la sardina (*Sardina pilchardus*) es la especie más importante con casi el 50% de las capturas incluidas en este grupo. Las especies *Engraulis encrasicolus* y *Sardinella aurita* son las siguientes en orden de importancia y finalmente *Merluccius merluccius* y *Trachurus trachurus* representan cada una poco más del 5% de las capturas de peces. (Figura 7).

Entre los moluscos el grupo de los pulpos que engloba la especie *Octopus vulgaris* y el género *Eledone sp.* supone más del 70% de las capturas. La segunda especie en orden de importancia es la jibia (*Sepia officinalis*) sobre la que se realiza el 15% de las capturas de moluscos. (Figura 8).

Entre los crustáceos la especie más importante es la galera (*Squilla mantis*) que agrupa casi el 35% del total de este grupo. Decápodos como brachiuros (cangrejos) y gamba rosada (*Aristeus antennatus*) representan respectivamente el 23 y 21% del total de capturas entre los crustáceos. (Figura 9).

Considerando el conjunto de todas las especies desembarcadas (Figura 10) los peces pelágicos de pequeña talla planctotróficos (con un régimen alimentario basado exclusivamente en el plancton) representan cerca del 60% del total desembarcado en los puertos de la Comunidad Valenciana, y algo más del 17% del total facturado.

El segundo grupo en importancia según el volumen de captura desembarcada y el primer grupo según el total facturado, alcanzando el 53% del total, está representado por las especies demersales. En este grupo se incluyen las especies que viven en proximidad del fondo y que se alimentan sobretodo de organismos bentónicos (que viven enterrados en el fondo), como poliquetos, crustáceos, y bivalvos.

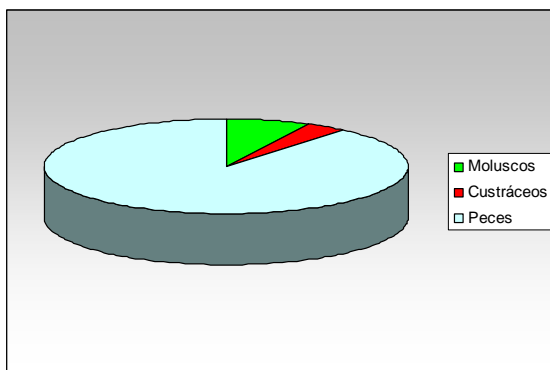


Figura.6. Composición de las capturas desembarcadas en la Comunidad Valenciana (año 2004)

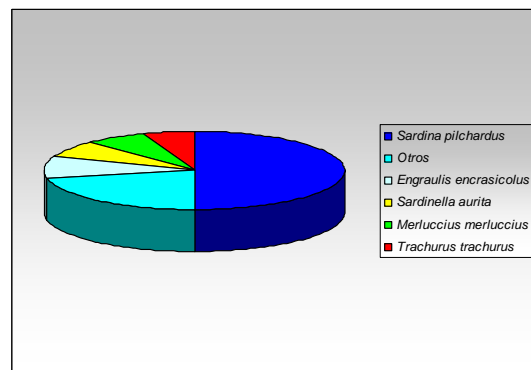


Figura 7. Composición de las capturas de peces desembarcados en la Comunidad Valenciana (año 2004)

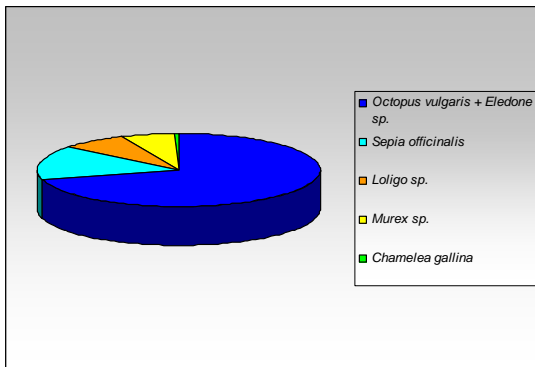


Figura 8. Composición de las capturas de moluscos desembarcados en la Comunidad Valenciana (año 2004)

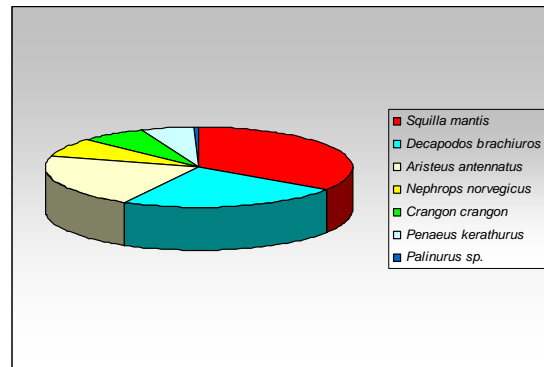


Figura 9. Composición de las capturas de crustáceos desembarcados en la Comunidad Valenciana (año 2004)

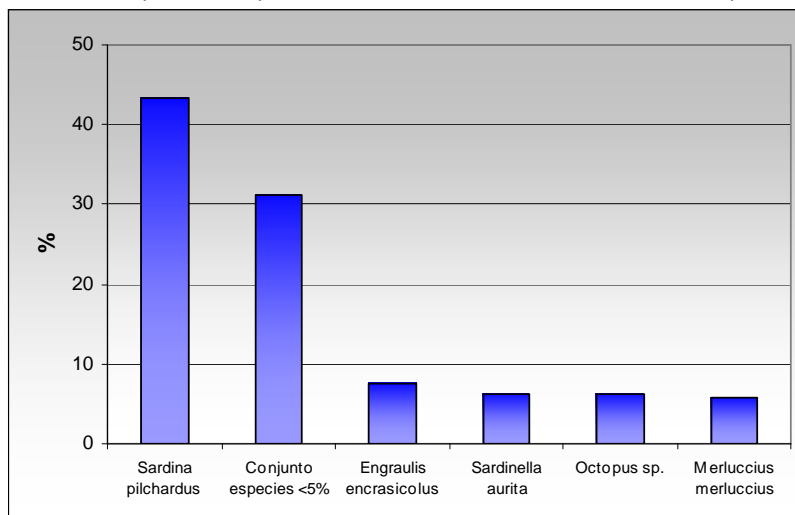


Figura 10. Principales especies desembarcadas en la Comunidad Valenciana (año 2004)
 Fuente: Generalitat Valenciana. Conselleria d'Agricultura, Pesca i Alimentació

POSIBLES IMPACTOS ASOCIADOS A UN PROYECTO DE DRAGADO

Ante un proyecto de extracción de arena en aguas profundas que contemplara la actuación de extracción de la totalidad de las arenas del yacimiento, utilizando una draga autoportante de succión por arrastre - Trailing Suction Hopper Dredger (TSHD) – las recomendaciones del CEDEX y la Dirección General para la Sostenibilidad de la Costa y del Mar contemplan los impactos potenciales que se analizan a continuación.

Impacto producido sobre la calidad del agua

La calidad del agua se verá modificada al producirse un aumento de la turbidez, por efecto del aumento de la cantidad de partículas en suspensión, asociado al arrastre del cabezal de dragado por el fondo marino y por el lavado de finos que se produce durante la operación de carga de la cántara de la draga.

La modelización de la dispersión de finos que generan el aumento de turbidez en superficie, a consecuencia del rebalse estima una afección en un entorno de 1.5 km alrededor del punto de emisión. En cuanto a la turbidez generada en el fondo, se estima que debido al escaso dinamismo el efecto será directo y muy localizado.

No es de esperar un aumento en los parámetros que denotan contaminación al tratarse de la remoción y puesta en suspensión de sedimentos no contaminados.

El impacto identificado tiene carácter negativo, directo, temporal, acumulativo, reversible y es próximo a la fuente aunque, por efecto del transporte inducido por las corrientes, puede presentar un área de influencia extensiva, se produce a corto plazo y es recuperable en todos los casos.

Impacto producido sobre las características del fondo marino

La composición de los fondos será alterada por efecto del dragado. Teniendo en cuenta los efectos producidos sobre la composición del fondo ante este tipo de actuaciones, es previsible que, a corto plazo, aumente la proporción de retos biogénicos y que se produzca una variación en la distribución de finos. En cuanto a la geomorfología, los taludes resultantes de la actuación serían suaves y en un área de grandes dimensiones, aunque es de esperar que la alteración producida sea permanente.

La modelización de la dispersión de finos que generan el aumento de turbidez en superficie, a consecuencia del rebalse estima una afección en un entorno de 1.5 km alrededor del punto de emisión, y una deposición máxima de 5 cm de espesor.

Los efectos serán, por tanto, directos e indefinidos en el tiempo, por lo que cabe establecer que el impacto será permanente. El efecto se produce únicamente sobre el área de dragado y su entorno más inmediato; impacto localizado, próximo a la fuente.

Impacto producido sobre las comunidades de fondos blandos

Los organismos pertenecientes a la comunidad de arenas fangosas con enclaves de detrítico enfangado, que habitan sobre o en el interior del banco de áridos serán extraídos junto con la arena, además de producir un cierto efecto por vía indirecta sobre las comunidades de este tipo que pueblan los fondos del entorno próximo a la zona de actuación, al aumentar la tasa de sedimentación y la posiblemente variación en la composición del sustrato que aumentará su contenido en material fino. El impacto que produce el dragado sobre las comunidades de fondos blandos es negativo, directo e inmediato, temporal y próximo a la fuente.

En base a la composición biológica de este tipo de comunidades, a que los fondos inmediatos a los de actuación presentan el mismo tipo de biocenosis y a la experiencia de anteriores actuaciones de extracción de arenas, cabe establecer que el impacto sobre las comunidades de fondos blandos es reversible y recuperable, siempre y cuando como resultado de la actuación no se produzca una alteración permanente en la tipología del sustrato. Por lo tanto es necesario prever un resguardo con el fin de mantener el mismo sustrato para la futura colonización por parte de los organismos.

Impacto producido sobre la hidrodinámica

La consideración de aguas profundas, extraída de la relación entre la profundidad y la longitud de onda del oleaje indica que la hidrodinámica por efecto del oleaje a la profundidad de trabajo es insignificante. En cuanto al estudio de corrientes, los datos registrados durante el estudio muestran valores bajos, situados entre 1 y 2 cm/s.

En todo caso, hay que tener en cuenta que la extracción tiene lugar en un área de grandes dimensiones (unos 26 km²) y a gran profundidad, por lo que la variación resultante de profundidad es aproximadamente de un 5%.

Teniendo en cuenta estas consideraciones, se estima que el efecto de la acción de dragado sobre la hidrodinámica es nulo.

Impacto producido sobre los recursos explotables

Las comunidades asociadas al bentos, como es el caso de algunas especies demersales pueden sufrir, puntualmente, un impacto negativo y directo si son succionados por la draga, pero en general, el efecto sobre este tipo de especies y sobre el resto de especies que habitan el necton sufren un impacto negativo e indirecto, debido al incremento de sólidos en suspensión en la columna de agua. En ambos casos, los impactos resultantes estarían localizados en el entorno del área de actuación, y serían reversibles y recuperables en un corto espacio de tiempo.

No se considera el efecto sobre comunidades de fanerógamas y/o maërl, ya que no se presentan este tipo de comunidades en la zona de actuación, ni en el entorno próximo que pueda verse afectado por la turbidez y la deposición de finos asociadas a la acción de dragado.

Dado el volumen de sedimento a extraer, hay que considerar cuál es el impacto acumulativo resultante y seleccionar la estrategia de actuación más adecuada para reducir este tipo de impacto y considerar, si resulta efectivo, qué periodos de parada hay que establecer para reducir el impacto.

El aumento de turbidez y el incremento en la tasa de sedimentación dependerán de la distancia a la zona de dragado pero también de otros factores como la operación de la draga y las condiciones meteorológicas, por lo que el impacto puede presentar un carácter irregular y discontinuo.

Impacto producido sobre la actividad pesquera

El impacto sobre la actividad pesquera se producirá cuando las especies objetivo, se desplacen hacia espacios no perturbados por efectos de la turbidez y el ruido existentes en la zona de extracción. Se trata, en general de un impacto indirecto y en principio, por la posible variación de las zonas de pesca que puede provocar, de carácter negativo, aunque no necesariamente.

De forma puntual, puede producirse un impacto directo por succión directa de organismos.

Presenta un carácter sinérgico con la variación de la tipología de los fondos, que puede ser permanente si no se respeta el resguardo necesario para preservar el tipo de hábitat. Siempre y cuando no exista una alteración sustancial en la tipología del sustrato, las

poblaciones de organismos bentónicos volverán a ocupar el mismo hábitat, escaso tiempo después de finalizada la extracción, por lo que cabe establecer que se trata de un impacto recuperable y reversible.

El efecto sobre el necton es asimismo, recuperable y reversible, regresando a situaciones propicias para la fauna piscícola una vez la turbidez haya disminuido, allí donde se hubieran alterado las condiciones de la columna de agua de forma significativa.

Su efecto espacial se limita a la zona de dragado y su entorno más inmediato, por lo que puede decirse que es localizado y próximo a la fuente.

Teniendo en cuenta la operativa de la draga se estima que el efecto sea continuo durante el tiempo que dure la extracción.

Dado el volumen de sedimento a extraer, hay que considerar cuál es el impacto acumulativo resultante y seleccionar la estrategia de actuación más adecuada para reducir este tipo de impacto y considerar, si resulta efectivo, qué periodos de parada hay que establecer para reducir el impacto.

Impacto producido sobre la navegación

La mayor afección a la navegación se producirá sobre la flota pesquera que suela faenar en la zona. Cabe considerar a su vez la posibilidad de interferir en alguna de las rutas marítimas existentes en la zona. Se trata de un impacto negativo, directo y simple.

Su persistencia se restringe, exclusivamente, al tiempo de permanencia de la draga en la zona, por lo que es temporal, desapareciendo una vez finalizada la actuación y discontinuo, no existiendo cuando tras finalizar cada ciclo de carga la draga abandona la zona.

El efecto se producirá, exclusivamente, en la zona donde esté operando la draga en cada momento. Es decir, será localizado.

Se trata de un efecto completamente reversible y recuperable que desaparecerá una vez finalice la operación de dragado.

Impacto producido sobre los usos recreativos

La distancia existente entre la zona de dragado y las playas utilizadas para el baño en la zona son muy elevadas como para que pudiera producirse un impacto sobre la calidad de las aguas de baño. El efecto sobre los usos recreativos en la costa es calificado de nulo.

En cuanto a la navegación de recreo, el efecto que pudiera producirse es directo y simple, temporal, discontinuo, localizado, reversible y recuperable, y no siempre negativo.

Impacto producido sobre el paisaje

Este impacto por las razones expuestas anteriormente se considera nulo.

Impacto producido sobre las obras de infraestructura

No se han detectado infraestructuras en la zona por lo que el impacto será nulo.

CONCLUSIONES

Conforme al proyecto de la Unión Europea “Eurosion” se ha iniciado en España la investigación de yacimientos estratégicos. En este marco se encuadra el presente estudio, en el cual se ha identificado y documentado exhaustivamente un yacimiento a través de la realización de un promedio de 1 sondeo de 4.8 m de penetración media, por cada 322.000 m³ de arena calificada como apta para proyectos de regeneración.

El volumen de arena de calidad que contiene el yacimiento es de, al menos $90 \cdot 10^6$ m³. No se ha detectado presencia de contaminantes en la capa de arena, ni en la capa de material fino que cubre la zona de estudio. Esa ausencia de contaminación abre un amplio abanico de usos potenciales, tanto de la arena, como de los sedimentos finos.

Los potenciales impactos que se derivan de la acción de dragado que requieren mayor consideración son aquellos que se produzcan sobre la explotación de recursos pesqueros, si bien este impacto es difícil de estimar a priori, por lo que un plan de vigilancia adecuado será la mejor herramienta para su estimación.

El impacto que se pueda ocasionar por efecto de la resuspensión de sedimentos y la alteración de las propiedades de la columna de agua son temporales y recuperables a corto plazo.

Las comunidades marinas afectadas no presentan una gran riqueza ecológica y, por su carácter oportunista y su extensión en un área más grande que la afectada, presentan un escenario favorable para la recuperación. La afección a espacios naturales protegidos, lugares o especies de especial sensibilidad, ha sido desestimada.

Dada la singularidad de la actuación de extracción, sobre un yacimiento situado en aguas profundas y alejado de la costa, es recomendable reforzar el plan de vigilancia, con el fin de incrementar el conocimiento y acometer la tarea de identificar y priorizar las afecciones que resulten relevantes dada la idiosincrasia de la actuación, en detrimento de la comparación con actuaciones similares ubicadas en entorno costero.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y del Mar, del Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, el permiso otorgado para la publicación de esta información.

REFERENCIAS

CEDEX, 1994. Recomendaciones para la gestión del material dragado en los puertos españoles (RGMD/94).

Buceta, J.L., 2004. Guía Metodológica para la elaboración de estudios de impacto ambiental de las extracciones de arenas para la regeneración de playas, CEDEX, 51 pp.