

*ESTUDIO DE LOS IMPACTOS
PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES
ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE
FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL
LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES*



Diciembre 2017

Asociación Española de Grandes
Yates (AEGY)



TECNOAMBIENTE

A TRADEBE COMPANY

Índice

1. Resumen ejecutivo.....	4
2. Introducción y objetivos.....	6
3. El litoral de las Islas Baleares. Praderas de fanerógamas marinas	7
4. Actividades generadoras de impacto sobre las Praderas Marinas	11
4.1 Vertido de aguas residuales	11
4.2 Vertido de salmueras	24
4.2.1 Vertido de aguas hipersalinas. Tipologías de vertido	28
4.3 Otros impactos. Dragados	36
5. Legislación ambiental asociada a la Posidonia y gestión de fondeos	38
5.1 Protección legal de las praderas de <i>P.oceanica</i> . Introducción y objetivos.....	38
5.2 Efectos de los fondeos sobre la Posidonia.....	43
5.3 Fondeos ecológicos:	45
5.4 Ejemplos de gestión de los fondeos sobre Posidonia en el ámbito del Mediterráneo occidental	52
5.4.1 España	52
5.4.2 Francia.....	53
5.4.2.1 Estrategia francesa de regulación de los fondeos	53
5.4.2.2 Ejemplos específicos de gestión	55
5.4.3 Italia	58
5.5 Herramientas útiles	60
5.5.1 DONIA	60

5.5.2	Aplicación de fondeo para las Islas Baleares	61
5.6	Estimación de la superficie potencialmente afectada por el fondeo sobre <i>P.oceanica</i> en las Islas Baleares.	62
5.6.1	Metodología.....	62
5.6.2	Conclusiones	68
5.6.2.1	Escenario1: Hipotético y pesimista	68
5.6.2.2	Escenario 2: Hipotético en base a datos oficiales.....	70
	Bibliografía	72
5.7	Ajuste de la afección de los fondeos a un caso particular: Sa Foradada.....	72
5.7.1	Resultados de la campaña	74
5.7.1.1	Análisis de la situación de partida	75
5.7.1.2	Diseño del muestreo.....	75
5.7.1.3	Metodología de muestreo para la determinación de la densidad	76
5.7.1.4	Resultados.....	76
5.7.2	Grado de ajuste visual.....	81
5.7.3	Grado de ajuste teórico	84
5.7.4	Conclusiones	85
5.8	Consideraciones finales.....	86
6.	Comparativa genérica de Impactos	86

1. Resumen ejecutivo

Una vez analizados los impactos transitorios de origen antropogénico más relevantes que reciben las praderas de fanerógamas marinas del litoral de las Islas Baleares y evaluados sus efectos de forma comparativa, cabe destacar los siguientes aspectos.

Los vertidos de aguas residuales bien sea a través de emisarios submarinos o en la línea de costa, los vertidos de salmueras procedentes de Plantas Desalinizadoras, las operaciones de dragado en zonas sensibles y los fondeos indiscriminados son los más importantes.

A modo de resumen, cabe destacar que en las Islas Baleares existen 104 conducciones de vertido al mar que, en época estival, pueden estar vertiendo como mínimo unos 200.000.000 litros de agua residual por día. Este volumen sobrepasa claramente la capacidad de depuración y afecta de modo local y general a los ecosistemas litorales más sensibles.

Solamente tres emisarios submarinos situados sobre la pradera de Posidonia existente en la Bahía de Palma pueden haber afectado un total de 6.000.000 metros cuadrados de superficie de fanerógamas marinas. Esto representa un 0.64% de la Posidonia existente en las Islas Baleares.

Asimismo, en las Islas Baleares existen 6 plantas desalinizadoras que vierten más de 15.000.000 de metros cúbicos al año de agua hipersalina. La concentración de sales de estas aguas suele ser casi el doble que la salinidad propia del mar mediterráneo en esta zona. Esta, en función de su sistema de vertido, puede desplazarse por el fondo, impactando de forma severa sobre los ecosistemas más sensibles. La superficie de fanerógamas marinas afectadas por estos vertidos es difícil de calcular aunque solamente en la zona de Torrent Gros (Desaladora de la Bahía de Palma), debido al vertido por rambla, se puede estimar en más de 1.500.000 metros cuadrados.

En relación a los fondeos, diversos estudios científicos demuestran que el fondeo sobre praderas de Posidonia puede conllevar un impacto significativo sobre las mismas.

El impacto principal (rizomas arrancados mecánicamente) dependen de la densidad de la pradera, la eslora del barco y las condiciones meteoceánicas, del tipo de ancla y de la maniobra de fondeo.

Adicionalmente, en los lugares muy frecuentados por cruceristas existen efectos secundarios derivados de la presencia continuada de embarcaciones en fondeaderos con renovación limitada del agua; vertido de sentinas y aguas grises, afecto de los anti-incrustantes, etc.

También debe destacarse que las praderas afectadas por la acción mecánica de los fondeos son más susceptibles a afección por parte de especies invasoras (*Caulerpa*).

Después de hacer una serie de aproximaciones y escenarios hipotéticos en base a datos procedentes de diversas fuentes, en el litoral de las Islas Baleares se estima una pérdida anual de pradera de *Posidonia oceanica*, siguiendo la hipótesis más pesimista, debido a los fondeos, de 27.448 m².

Por consiguiente, maximizando el daño y contemplando de manera teórica el peor de los escenarios posibles, cada año se produce una pérdida de 0.003 % del total de la *Posidonia* existente en las Islas Baleares debido exclusivamente al fondeo de las embarcaciones.

Para un escenario más realista, en base a datos aportados por diversos medios de información podríamos estimar unos 26.712 fondeos anuales sobre *Posidonia*. Si este impacto lo duplicamos, lo que supone un escenario totalmente sesgado hacia el lado de la seguridad, en base a la afección del garreo y borneo, tendríamos un impacto anual que representaría un 0.00056% del total de la *Posidonia* existente.

Adicionalmente a la normativa internacional, estatal o autonómica, que como se ha comentado, es de escaso cumplimiento, no existe una estrategia a nivel nacional o internacional sobre la gestión de los fondeos sobre *Posidonia*. Las únicas herramientas de gestión, ordenación o control se han desarrollado en zonas protegidas (parques naturales).

Una excepción destacable a lo anteriormente dicho es el caso de Francia, donde en 2010 se desarrolló una política de gestión de fondeos en zonas sensibles.

Actualmente existe tecnología para instalar fondeos permanentes en manchas de arena de pequeñas dimensiones e incluso dentro de las mismas praderas de *Posidonia* con un impacto ambiental muy bajo, por lo que la creación de campos de fondeos ecológicos controlados es la alternativa más factible al fondeo libre.

Existen numerosos ejemplos de intentos de regulación del fondeo en lugares altamente sensibles y con elevada frecuentación de cruceristas, con resultados dispares.

La principales conclusiones de las experiencias de regulación llevadas a cabo son que además de la instalación de fondeo ecológicos, es necesaria la concienciación y el control sobre la actividad de los cruceristas.

Además es importante destacar que los campos de boyas deben estar muy bien diseñados y ejecutados ya que si no su impacto puede ser mayor que el del fondeo libre.

En octubre de 2017 se ha puesto a información pública el Decreto Balear sobre la conservación de *P.oceanica*.

El Decreto antes mencionado incluye expresamente el fondeo sobre praderas, que queda prohibido, e incluye un régimen sancionador que considera infracción grave afectar más de 1m² de Posidonia, y muy grave más de 10m².

En todo caso para que se aplique el régimen sancionador la pradera debe: ser visible, o estar balizada, o bien su ubicación ha debido de ser facilitada al público y a los patrones.

Actualmente existe una página web del gobierno Balear con cartografía de Posidonia, donde se especifican las zonas donde el fondeo es posible. Esta cartografía no está disponible en un formato habitual en la navegación (cartas náuticas digitales).

Es destacable la aplicación para smartphones y tablets DONIA, popular en Francia y de uso sencillo e intuitivo, que indica la idoneidad del lugar escogido para el fondeo.

La aplicación dispone de una cartografía de alta calidad de los diferentes tipos de fondos e indica al patrón si se dispone a anclar sobre posidonia, arena o rocas mediante un sencillo esquema de colores.

2. Introducción y objetivos

El principal objetivo es evaluar de forma genérica los diferentes impactos que sufren las praderas de fanerógamas marinas (especialmente la Posidonia oceánica) debido a las actividades humanas y vertidos de distinta índole que se producen en la costa. Para dicha evaluación se hará especial hincapié en la comparativa, en cuanto a nivel y área de afección, de las distintas actividades generadoras de impacto. Se tendrán en cuenta principalmente los siguientes vectores generadores de impacto:

- Vertidos de aguas residuales en línea de costa y mediante emisarios submarinos
- Vertidos de salmueras
- Actividades de dragado
- Cambio Climático
- Otros

Asimismo, el trabajo pretende evaluar específicamente los impactos generados por los fondeos de embarcaciones y los sistemas de gestión que se aplican en algunos países con problemáticas similares. Finalmente, a partir de las conclusiones extraídas del trabajo, se evaluarán posibles alternativas encaminadas a la minimización de dichos impactos y a la optimización de la gestión.

3. El litoral de las Islas Baleares. Praderas de fanerógamas marinas

Nuestro mar Mediterráneo se encuentra, cada vez más, amenazado por los impactos de las actividades humanas que van degradando los ecosistemas marinos, y por tanto, disminuyendo su biodiversidad. Una de las especies bioindicadoras de una excelente calidad de las aguas marinas es la *Posidonia oceanica*. La presencia de esta planta marina, que forma el ecosistema más complejo e importante del mar Mediterráneo, es una prueba evidente de que el entorno marino goza de una buena calidad y un buen estado de conservación.

La importancia ecológica y económica de la pradera de *Posidonia oceanica* L. Delile se basa en que:

- Es una especie endémica del mar Mediterráneo.
- Representa la comunidad clímax de los fondos blandos infralitorales.
- Sus hojas y rizomas condicionan una alta heterogeneidad espacial, con diferentes nichos ecológicos.
- Representa una importante área de cría y de puesta para diferentes especies de interés económico.
- Da refugio y alimento para juveniles y adultos de especies que representan un recurso para las pesquerías costeras.

Sin embargo, en numerosos enclaves de nuestro litoral estas praderas de fanerógamas marinas están gravemente afectadas. En algunos casos como consecuencia de la contaminación de las aguas, las alteraciones en la dinámica de sedimentos, la disminución en

la transparencia de las aguas, las construcciones en el litoral, la práctica inadecuada de la pesca de arrastre, la presencia de especies invasoras que van alterando su hábitat y eliminándolas, etc... Dada la importancia que estos ecosistemas tienen para la conservación de la biodiversidad marina es fundamental profundizar en el estudio de su estado de conservación, conocer su evolución y, en el futuro, establecer modelos predictivos para contribuir a la adecuada gestión del medio ambiente litoral.

En las Islas Baleares, la estimación de fondos marinos ocupado por la fanerógama no deja de ser aproximada.

Analizando las ecocartografías de las zonas LIC de Baleares, se desprenden los siguientes datos relativos:

ISLA	Superficie ocupada por <i>P.oceanica</i>	ISLA	Superficie ocupada por <i>P.oceanica</i>
MALLORCA	411,39 km ²	IBIZA	63,09 km ²
MENORCA	82 km ²	FORMENTERA	76,65 km ²

Tabla 1. Superficie de *P.oceanica* en las Islas Baleares. Tecnoambiente 2017 a partir de datos publicados en cartografía LIC





Figura 1.- Praderas de Posidonia en LIC de las Islas Baleares. Fuente: IDEIB

Asimismo, a partir de los datos obtenidos de la Ecocartografía del MAPAMA junto con la gran cantidad de información disponible sobre los fondos marinos por parte de Tecnoambiente S.A., y pese a no disponer de una cartografía completa de Mallorca (*), es posible hacer una aproximación de la superficie total ocupada por la fanerógama. Los datos se detallan a continuación:

ISLA	Superficie ocupada por <i>P.oceanica</i>	ISLA	Superficie ocupada por <i>P.oceanica</i>
MALLORCA	(*)706 km ²	IBIZA	63,09 km ²
MENORCA	82 km ²	FORMENTERA	76,65 km ²

Tabla 2. Superficie de *P.oceanica* en las Islas Baleares. Tecnoambiente 2017 a partir de datos publicados en cartografía MAGRAMA más fuentes propias



Figura 2.- Ejemplo de distribución de *Posidonia oceanica* en la Bahía de Sant Antoni de Portmany – Ibiza. Fuente: MAPAMA

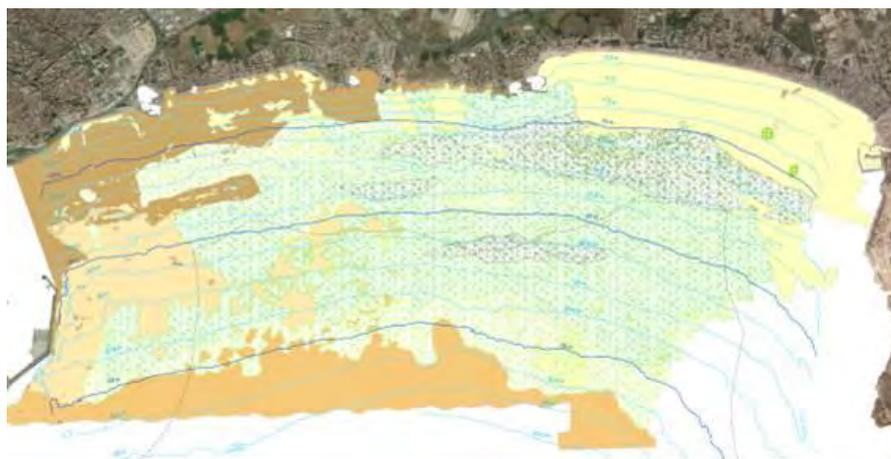


Figura 3.- Ejemplo de distribución de *Posidonia oceanica* en la Bahía de Palma– Mallorca. Fuente: Tecnoambiente S.L. para EMAYA.

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

4. Actividades generadoras de impacto sobre las Praderas Marinas

Debido a su ubicación, que suele situarse en el Mediterráneo occidental entre 1 y 35 metros de profundidad, las praderas de fanerógamas marinas reciben un importantísimo impacto debido a las actividades humanas que se desarrollan en esta franja del litoral. En ella, tienen lugar la mayor parte de acciones fruto del desarrollo humano (actividades balneáticas, infraestructuras, vertidos de aguas residuales, tendido de cables, pesca, fondeo de embarcaciones, etc.).

Los diferentes impactos tienen un grado diferente de importancia sobre las praderas. Los impactos pueden ser durante las operaciones o bien durante la construcción, pueden ser reversibles o irreversibles, transitorios o permanentes, severos o de escasa importancia, etc. Es uno de los objetivos de este estudio, evaluar de forma genérica y específica (Islas Baleares) los diferentes impactos que sufren las praderas de fanerógamas marinas y establecer una comparativa que sitúe cada impacto potencial en el lugar que le corresponda según el grado de importancia.

Los principales impactos que se han tenido en cuenta en este estudio son:

- i) Vertido de aguas residuales. Emisarios submarinos
- ii) Vertido de salmueras procedentes de ITAM's

4.1 Vertido de aguas residuales

El vertido de aguas residuales es uno de los principales impactos que sufren los ecosistemas litorales. La mayoría de la población vive en la franja litoral y, además, esta sufre la masiva llegada de turistas durante al menos 4 meses al año. El vertido de aguas residuales suele realizarse a través de emisarios submarinos situados normalmente entre 15 y 25 metros. En algunas áreas del litoral esto supone ubicarse encima de las praderas de *Posidonia oceánica* o bien en áreas cercanas.

Debido a varios factores que ahora detallaremos, es habitual en según qué áreas que existan disfunciones en los sistemas de depuración y en las infraestructuras sumergidas. Estas disfunciones son habituales en algunas zonas del litoral balear.

Las causas del mal funcionamiento de las estaciones depuradoras o bien de los emisarios submarinos se deben a:

- i) Importante variabilidad de los caudales a depurar debido a los incrementos de población durante los meses estivales.
- ii) Variabilidad de caudales debido a las lluvias torrenciales, típicas del clima mediterráneo
- iii) Mal funcionamiento de los emisarios submarinos debido a la variabilidad de caudales. La configuración de los difusores es única y diseñada para caudales tipo.
- iv) Taponamiento de los difusores
- v) Rotura de la tubería debido a múltiples factores (pesca, fondeo de embarcaciones, oleaje, falta de mantenimiento, etc.)

Para evaluar el impacto de un emisario submarino “tipo” así como de un vertido realizado por un emisario submarino con mal funcionamiento y un vertido en la línea de costa, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

La *Posidonia oceánica*, es especialmente sensible a:

- Cambios de salinidad transitorios o permanentes.
- Disminución de la capa fótica (luz) que impide realizar la fotosíntesis con normalidad.
- Incremento de la materia orgánica y sólidos en suspensión. Además de disminuir la capa fótica, incrementa el epifitismo, reduciendo la superficie foliar.
- Enterramiento de los haces.

Una vez definidos estos impactos, cabe destacar que el vertido de aguas residuales, según como se realice, implica un incremento de todos ellos de forma significativa y permanente. Si esto se dilata en el tiempo, el impacto pasa a ser irreversible.

Estudio de casos. Tipologías de vertidos de aguas residuales

Para poder evaluar, de forma genérica, el impacto relativo de un vertido de aguas residuales en el mar, se estudiarán una serie de casos, todos ellos existentes en el litoral Balear. Los casos que se tendrán en cuenta son:

- Vertido de agua residual, depurado y sin depurar, realizado en la línea de costa. Evaluación de su impacto y definición del área de afección. Determinación del impacto que supone sobre una pradera de fanerógamas marinas.
- Vertido a través de un emisario submarino con difusores.
- Vertido a través de un emisario submarino con boca única.

Para la modelización se ha utilizado el modelo CORMIX (Cornell Mixing Zone Expert System), desarrollado por investigadores de la Universidad de Cornell, con un convenio de cooperación con la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos. Se trata de un modelo para el ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

análisis, predicción y diseño de vertidos líquidos en medios acuosos. En especial el modelo reproduce la forma y dispersión de la pluma de vertido en las proximidades del effluente (o campo cercano), aunque es capaz también de simular la evolución del vertido a largas distancias.

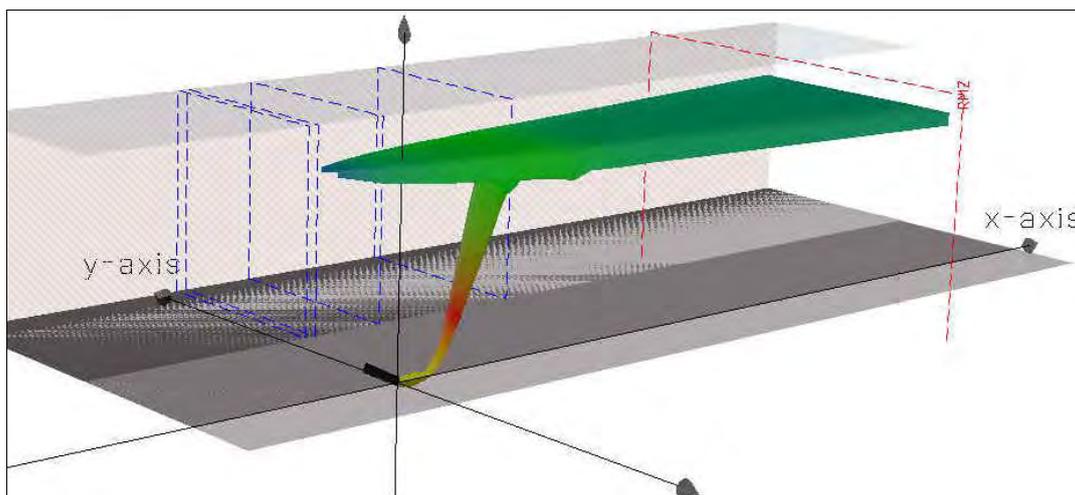


Figura 4.- Representación 3D de un vertido con flotabilidad positiva mediante CORMIX.

El sistema CORMIX es una herramienta robusta y versátil para la predicción de aspectos cualitativos (clasificación del flujo) y cuantitativos (ratio de dispersión, trayectoria de la pluma) de los procesos hidrodinámicos de mezclado resultantes de diversas configuraciones de descarga en todo tipo de ambientes acuosos, incluyendo pequeños torrentes, grandes ríos, lagos, pantanos, estuarios y zonas costeras.

La aplicación del modelo ha sido extensamente validada por sus autores comparando los resultados de simulación con datos de medidas de campo y de laboratorio, y ha sido igualmente empleado en un amplio rango de situaciones, desde una simple descarga mediante una tubería sumergida en un pequeño torrente, donde los procesos de mezclado son rápidos, hasta un sistema complicado de una instalación con un difusor multipuerto en zonas costeras con grandes profundidades y ambientes estratificados.

El modelo está integrado por tres módulos distintos en función del tipo de vertido que desee simularse:

- CORMIX-1 para vertidos sumergidos con un único puerto de descarga
- CORMIX-2 para vertidos sumergidos con un difusor multipuerto

- CORMIX-3 para vertidos superficiales flotantes

El modelo fue desarrollado bajo la hipótesis de condiciones ambientales estacionarias, aunque permite el análisis en condiciones no estacionarias en el caso de ambientes mareales.

Además, incorpora dos modelos de post-proceso acoplados al sistema CORMIX, aunque pueden usarse también independientemente. Estos son el modelo CORJET (Cornell Buoyant Jet Integral Model) para un análisis detallado del comportamiento en el campo cercano de vertidos con flotabilidad positiva (emergen a la superficie), y el modelo FFLOCATR (Far-Field Plume Locator) para delimitar el campo lejano de vertidos en ríos o estuarios con una geometría no uniforme.

En este caso, se trata de predecir el comportamiento de un vertido superficial con una densidad inferior a la del medio receptor, es decir, con una flotabilidad positiva.

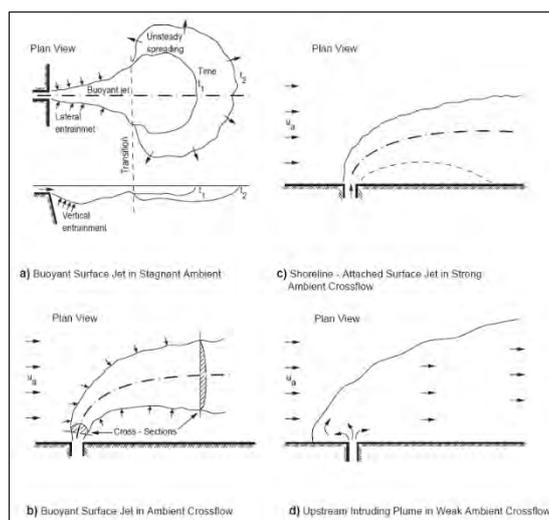


Figura 5.- Distintos tipos de vertido modelizables con CORMIX (Fuente: CORMIX User Manual)

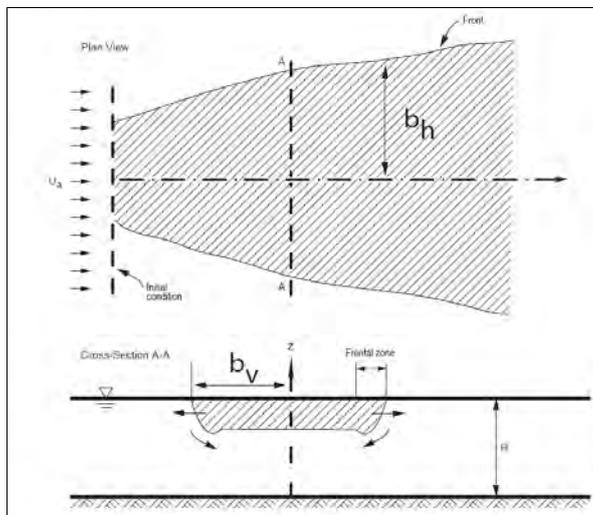


Figura 6.- Comportamiento de un vertido con flotabilidad positiva al llegar a superficie

El modelo CORMIX utilizado en el estudio de dilución para modelizar el comportamiento del vertido proporciona una serie de parámetros que permiten describir la pluma de vertido, su posición y su recorrido durante su trayectoria. En la siguiente figura se muestra un ejemplo del archivo de predicción obtenido con el modelo CORMIX:

```

Profile definitions:
BV = Gaussian 1/e (37%) half-width, in vertical plane normal to trajectory
BH = before merging: Gaussian 1/e (37%) half-width in horizontal plane
      normal to trajectory
      after merging: top-hat half-width in horizontal plane
      parallel to diffuser line
S = hydrodynamic centerline dilution
C = centerline concentration (includes reaction effects, if any)

      X      Y      Z      S      C      BV      BH
Individual jet/plumes before merging:
0.00  0.00  1.74  1.0  0.450E+02  0.08  0.08
0.00  0.00  1.74  1.0  0.450E+02  0.08  0.08
** WATER QUALITY STANDARD OR CCC HAS BEEN FOUND **
The pollutant concentration in the plume falls below water quality standard
or CCC value of 0.350E+02 in the current prediction interval.
This is the spatial extent of concentrations exceeding the water quality
standard or CCC value.
0.08  0.00  5.23  5.9  0.756E+01  0.45  0.45
0.26  0.00  8.72  11.4  0.337E+01  0.82  0.82
0.50  0.00  12.21  23.3  0.194E+01  1.18  1.18
0.79  0.00  15.69  35.4  0.127E+01  1.54  1.54
1.10  0.00  19.17  48.6  0.906E+00  1.90  1.90
1.45  0.00  22.65  65.9  0.683E+00  2.26  2.26
1.82  0.00  26.13  83.9  0.536E+00  2.61  2.61
2.22  0.00  29.60  103.6  0.434E+00  2.97  2.97
2.63  0.00  33.07  124.9  0.360E+00  3.33  3.33
3.06  0.00  36.54  147.8  0.304E+00  3.68  3.68
3.51  0.00  40.01  172.2  0.261E+00  4.03  4.03
3.98  0.00  43.47  198.1  0.227E+00  4.39  4.39
4.46  0.00  46.93  225.5  0.200E+00  4.74  4.74
4.96  0.00  50.39  254.3  0.177E+00  5.10  5.10
5.48  0.00  53.85  284.3  0.158E+00  5.45  5.45
Cumulative travel time =      121. sec

```

Figura 7.- Archivo de predicción obtenido con el modelo CORMIX

Así, en el archivo obtenido de predicción del comportamiento del vertido, este queda caracterizado básicamente por los siguientes parámetros:

- X,Y,Z: Coordenadas del punto dado del eje de la pluma de vertido.
- S: Dilución en el punto dado del eje central de la pluma de vertido, definida como el ratio entre la concentración inicial (en el punto de vertido) y la concentración en la posición dada.
- C: Concentración en el punto dado del eje de la pluma.
- B (Bv y Bh): Radio de la pluma de vertido en un plano normal a la trayectoria. Define el radio de la pluma de vertido considerando como límite de la pluma aquellos puntos con un 37% de la concentración existente en el eje de la pluma.

La distribución de las concentraciones en la pluma de vertido sigue un perfil de distribución gaussiana. Si se realiza un “corte” transversal a la pluma, perpendicular a su sentido de avance, las concentraciones se distribuyen según se aprecia en la figura siguiente:

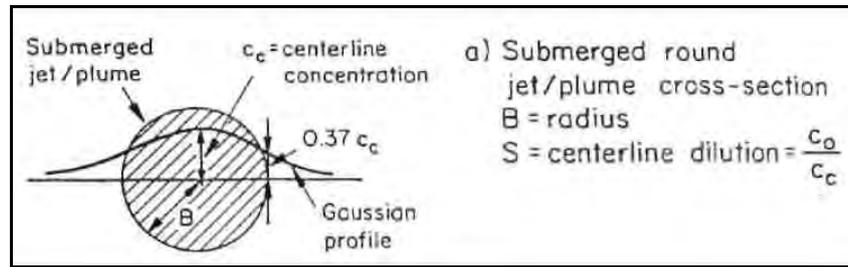


Figura 8.- Representación de la distribución de concentraciones en la pluma de vertido

El punto central (correspondiente al eje de la pluma) presenta la concentración máxima (mínima dilución) y a medida que nos alejamos de ese punto central la concentración disminuye, siguiendo la distribución gaussiana.

El modelo CORMIX considera como borde de la pluma la zona donde la concentración es un 37% de la que existe en el centro. Este parámetro (B_v y B_h) es el utilizado por el modelo a la hora de evaluar la interacción de la pluma de vertido con la superficie de la lámina de agua, y la interacción horizontal entre dos plumas de vertido contiguas.

Se ha considerado un escenario común, con las siguientes características:

- Caudal de vertido: 20.000 m³/d
- Corriente en el medio receptor de 0,05 m/s, viento de 5 m/s
- Densidad medio receptor de 1025 kg/m³
- Densidad efluente de 1000 kg/m³

Y se han considerado los siguientes escenarios:

- A. Emisario con un tramo difusor de 150 m con 150 boquillas de 0,1 m de diámetro, vertiendo en un ángulo vertical de 45°
- B. Emisario con un tramo difusor de 150 m con 75 boquillas operativas de 0,1 m de diámetro, vertiendo en un ángulo vertical de 45°
- C. Emisario con un tramo difusor de 50 m con 50 boquillas operativas de 0,2 m de diámetro, vertiendo en un ángulo vertical de 45°
- D. Emisario sin tramo difusor, con una sola salida de 1m de diámetro, vertiendo en horizontal.
- E. Vertido en línea de costa en canal abierto

Para todos los escenarios se ha valorado la dilución conseguida a 10, 50, 100, 500 y 1000 metros de distancia del punto de vertido, así como la distancia a la que se consigue una dilución de 1:100, que es la que se exige en la Orden de 13 de julio de 1993, que por la que se aprueba la instrucción para el proyecto de conducciones de vertidos desde tierra al mar.

Caso	Dilución 10m	[] 10m	Dilución 50m	[] 50m	Dilución 100m	[] 100m	Dilución 500m	[] 500m	Dilución 1000m	[] 1000m	Distancia para dilución 1:100
A	1:136	0,74%	1:547	0,18%	1:606	0,17%	1:837	0,12%	1:1029	0,10%	5 m
B	1:299	0,33%	1:574	0,17%	1:613	0,16%	1:748	0,13%	1:990	0,10%	5 m
C	1:279	0,36%	1:527	0,19%	1:564	0,18%	1:737	0,14%	1:925	0,11%	4 m
D	1:15	6,7%	1:27	3,70%	1:33	3,03%	1:70	1,43%	1:166	0,60%	690 m
E	1:1	100%	1:1	83,33%	1:3	38,46%	1:12	8,47%	1:37	2,73%	1.700 m

Tabla 3. pt

Tal como se puede apreciar en la tabla, y centrándonos en los casos D y E (emisarios con disfunciones importantes o vertidos en línea de costa), podemos concluir lo siguiente:

- Un vertido realizado a través de una boca única debido a roturas o enterramiento de los difusores, normalmente a causa de la falta de mantenimiento, no alcanza la dilución suficiente de 1:100 (valor considerado como de seguridad para un emisario submarino) hasta los 690 m desde su punto de vertido.
- En el caso de vertidos realizados en la línea de costa, el área de afección es de 1700 m en dirección a la corriente dominante.

Los emisarios submarinos de las Islas Baleares

Actualmente existen en las Islas Baleares un total de 104 emisarios submarinos o conducciones de vertido. Están repartidos de la siguiente manera: Mallorca, 60, Eivissa 26, Menorca 12 y Formentera 6. De ellos, 47 están sobre praderas de *Posidonia oceanica* (ver anejos correspondientes).

Muchos de los emisarios submarinos existentes en las Islas Baleares no están aún legalizados. Entre ellos se incluyen los más importantes situados en la Bahía de Palma.

Si nos centramos en el área de influencia de los vertidos de la Bahía de Palma, nos encontramos, tenemos los siguientes datos:

El área metropolitana de Palma de Mallorca cuenta con 560.240 habitantes. Además, en la época estival, en un solo día puede haber hasta 2.010.520 personas en las Islas Baleares, cifra a la que se llegó precisamente el 10 de agosto de 2015.

Estas cifras implican intrínsecamente, como mínimo, un vertido de aguas residuales en la Bahía de:

- Vertido aguas residuales Área Metropolitana de Palma de Mallorca: 67.228.800 l/día
- Vertido aguas residuales en época estival en las Islas Baleares: 241.262.400 l/día

Estos volúmenes superan la capacidad de vertido y depuración que existe en las Baleares.

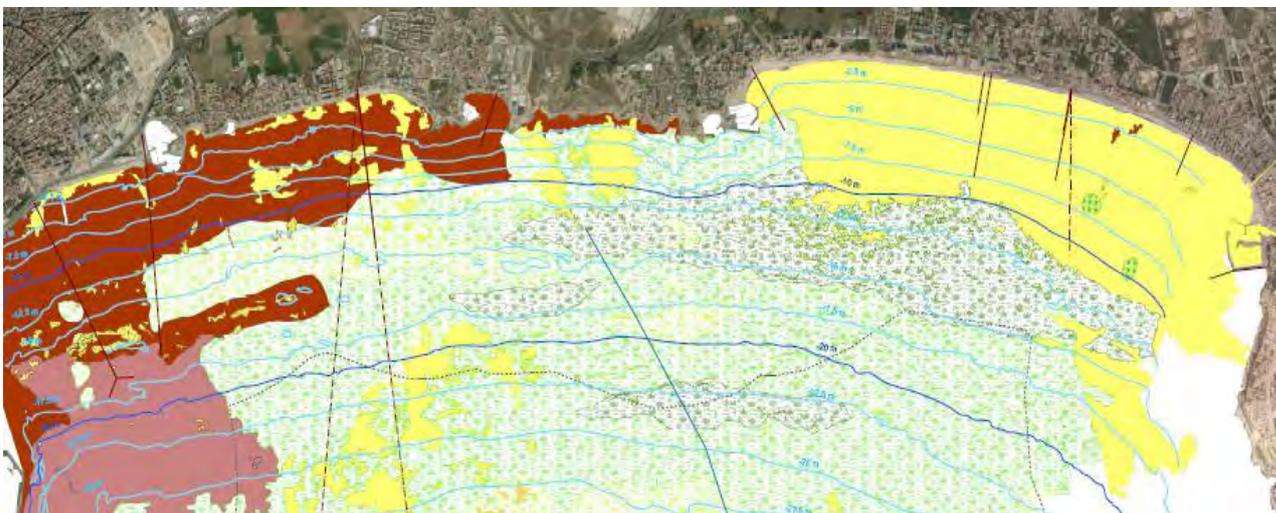


Figura 9.- Plano ecocartográfico y de infraestructuras submarinas de la Bahía de Palma

En la figura anterior se puede observar el mapa geomorfológico del tramo de la Bahía de Palma, desde el Puerto de Palma hasta S'Arenal. En él se puede apreciar la existencia de 10 emisarios submarinos (líneas rojas perpendiculares a la costa) o aliviaderos así como el gasoducto con la zona de aterraje en Sant Joan de Déu (en azul). Asimismo, aparecen las

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

áreas correspondientes a praderas de fanerógamas marinas con diferentes estados de conservación. Los estados de conservación, como indica la leyenda en el plano que se adjunta, se han medido en base al grado de cobertura de la pradera en relación a la superficie que ocupa. Así, en verde oscuro aparecen las zonas con un grado de cobertura superior al 70%. Los verdes más claros corresponden a áreas que se sitúan entre un 30% y un 70% y e incluso una cobertura inferior a un 30% en zonas cercanas a los vertidos (marcadas en este caso con un verde muy pálido).

	Extensión dentro del ámbito de estudio (Ha)	
Sustrato rocoso con algas fotófilas	30,2	
Arenas finas y medias no vegetadas	680,0	
Arenas mixtas a sustrato rocoso con algas fotófilas	399,4	
Pradera de <i>Posidonia oceanica</i>	Recubrimiento <30%	620,9
	Recubrimiento 30-70%	1.306,6
	Recubrimiento 70-100%	441,3
Céspedes de <i>Cymodocea nodosa</i>	3,7	
Detrítico costero	395,1	
Detrítico arenoso	488,8	
Pre coralígeno	3,3	

Tabla 4. Tabla de valoración de las distintas áreas geomorfológicas de la Bahía de Palma

En la tabla anterior se presentan los resultados correspondientes al cálculo de las áreas de las praderas de *Posidonia oceanica* según su densidad. Analizando los datos, se puede apreciar como en esta zona de la Bahía de Palma, existen un total de aproximadamente 23.680.000 metros cuadrados ocupados por praderas de fanerógamas marinas. De ellos, tan solo 4.410.000 metros cuadrados corresponden a praderas de *Posidonia* cuyo recubrimiento está por encima del 70%. Este recubrimiento, en praderas continuas situadas entre 8 m y 15 m de profundidad, indica un buen estado de salud de las fanerógamas. Observando el plano geomorfológico, se puede observar como la zona cercana a los vertidos de Torrent Gros y Baluarte (situados entre Cala Gamba y al oeste de El Portitxol) presenta áreas con un grado de recubrimiento de *Posidonia oceanica* inferior a 30%. Por la profundidad a la que se encuentra y

siguiendo el patrón de asentamiento que encontramos al este de Cala Gamba, en esta área deberíamos encontrar una pradera con un grado de recubrimiento superior al 70%. Esta zona de afectación directa se puede estimar en unos 6.000.000 de metros cuadrados.

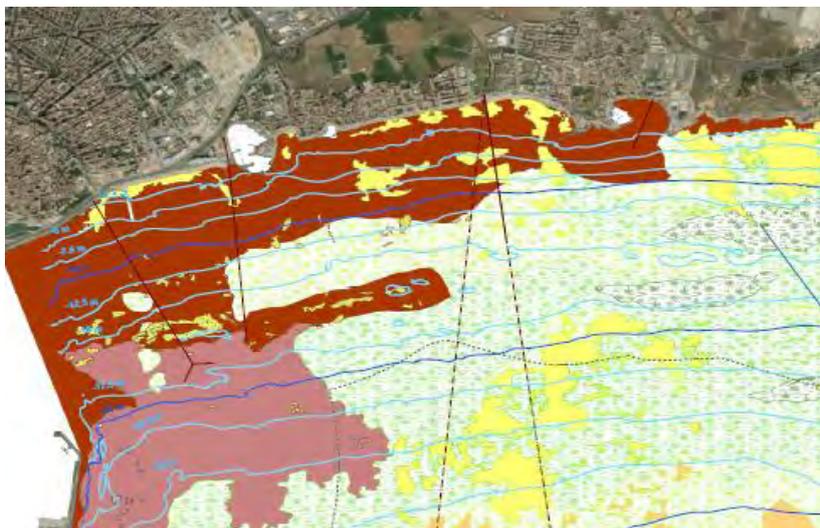


Figura 10.- Ecocartografía del área correspondiente a los vertidos situados en el área de Cala Gamba y El Portitxol. Las líneas rojas perpendiculares a la costa nos indican la presencia de vertidos desde tierra al mar.

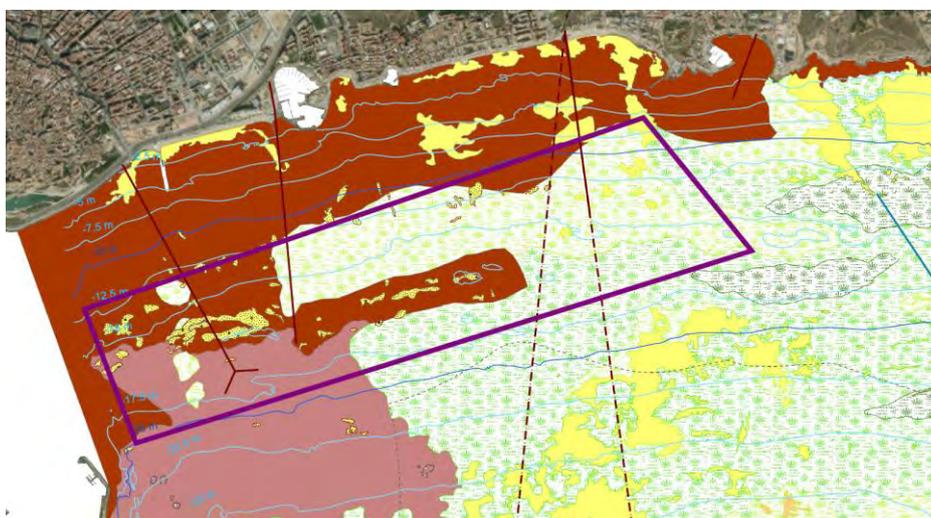


Figura 11.- Polígono (color morado) correspondiente al área del fondo marino degradado a causa probablemente del vertido de aguas residuales e hipersalinas. Se puede observar una gran área, en verde claro, donde la Posidonia tiene una cobertura inferior al 30%. Asimismo, en el área situada más al oeste del polígono, han desaparecido las praderas y aparece en color rosado una gran área de arenas detríticas.

Tal como hemos comentado anteriormente, el vertido de aguas residuales de forma continuada, con posibles disfunciones tanto en el tratamiento como en el sistema de vertido, provoca una aportación de materia orgánica y de turbidez que afecta de forma directa a la Posidonia. Esta afectación es básicamente por epifitismo, disminución de la capa fótica y de la salinidad así como por el enterramiento progresivo de la Pradera. En el caso de que, en la época estival, se sobrecaliente el agua de la Bahía debido a la presencia de un anticiclón que perdure en el tiempo, pueden aparecer blooms de algas y bacterias que provocan la degradación de los fondos marinos y la regresión de las praderas de fanerógamas marinas. Estos episodios han ocurrido de forma más o menos frecuente como el documentado el día 19 de septiembre de 2016 (Diario de Mallorca).



Figura 12.- Fondo marino degradado en la Bahía de Palma en un punto cercano a los vertidos realizados a través del emisario submarino de Torrent Gros (Diario de Mallorca).

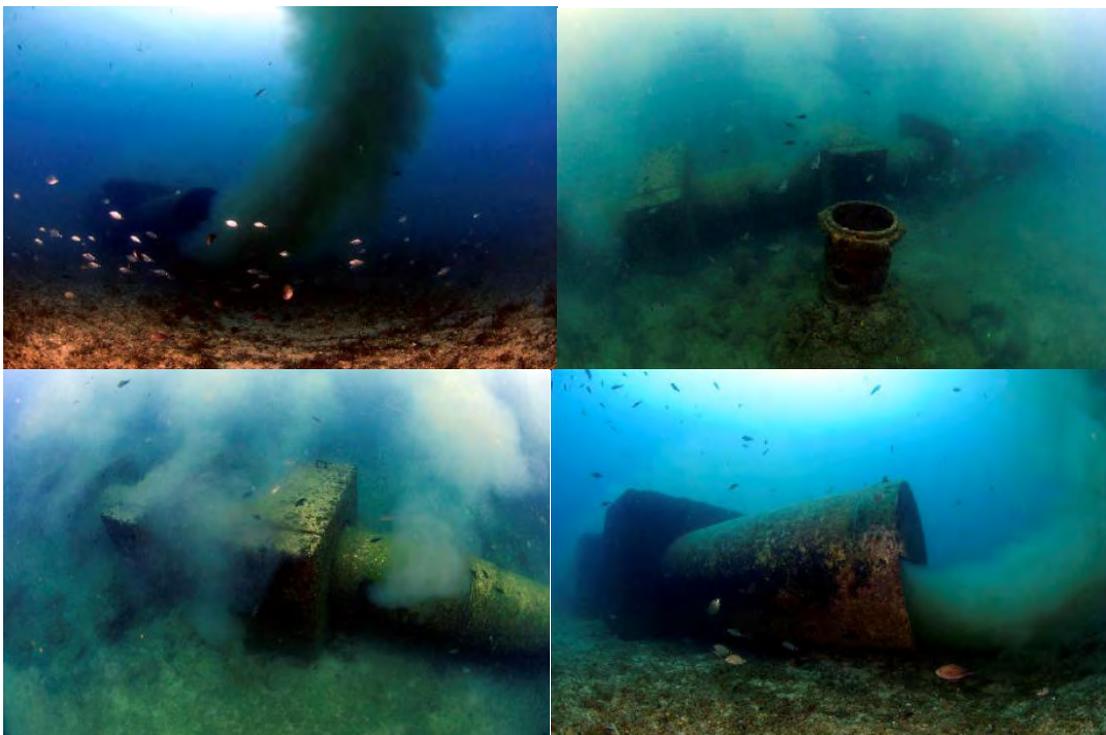


Figura 13.- Detalle de un emisario submarino situado en la Bahía de Palma con una clara disfunción tanto en el tratamiento como en la realización del vertido.



Figura 14.- Emisarios submarinos discurriendo a través de praderas de fanerógamas



Figura 15.- Praderas de fanerógamas en las Islas Baleares afectadas por vertidos de origen antropogénico.

4.2 Vertido de salmueras

El vertido de aguas hipersalinas procedentes de las Estaciones de Tratamiento de Aguas Marinas (en adelante ITAM) es habitual en el litoral de las Islas Baleares y supone, en función de la tipología de vertido, un importante impacto para las comunidades ubicadas en el fondo marino. A diferencia de las aguas residuales, que son dulces, con densidades cercanas a los 1000 Kg/metro cúbico y generalmente cargadas de materia orgánica y con una alta turbidez, las aguas hipersalinas suelen ser transparentes pero con una salinidad muy elevada (68 gr/litro), lo que hace que su densidad sea de aproximadamente 1050 Kg/metro cúbico. Es precisamente su alta densidad la que provoca que no aproveche la columna de agua para diluirse sino que se desplaza por el fondo marino debido a su flotabilidad negativa. La ausencia de fenómenos turbulentos en el fondo marino provoca que su dispersión en el medio se realice mediante difusión. Este fenómeno es muy lento y provoca que el impacto sobre las comunidades del fondo sea elevadísimo.

La preocupación por los posibles efectos de los vertidos de salmuera de las desaladoras en la flora y fauna marina es relativamente reciente. Aunque existen desaladoras funcionando desde hace muchos años y no se había observado ningún cambio en la flora y fauna en la zona de vertido, hasta que la comunidad científica advirtiera de los posibles efectos negativos, para que se hayan puesto todos los medios para estudiar el problema y buscar la solución.

En primer lugar se estudió (documento Ministerio de Medio Ambiente) la tolerancia a la salinidad de las especies más sensibles y con mayor grado de protección en las directivas medioambientales españolas y europeas, entre la que se encuentra la *Posidonia oceanica*, planta que vive en el Mediterráneo, en las proximidades de las costas y que forma un hábitat de gran valor para el desarrollo de los peces, fijar los bancos de arena y oxigenar el agua de mar. Es por lo tanto obligado proteger completamente esta especie y evitar el más mínimo efecto negativo sobre la misma.



Figura 16.- Enclave en el que se encuentra la IDAM Alcudia

Este estudio de la tolerancia a la salinidad de la *Posidonia oceanica* se ha llevado a cabo en los últimos años, llegando a fijar la salinidad máxima tolerable en 38.5 unidades prácticas de salinidad que son aproximadamente equivalentes a 39 gramos por litro. En este estudio han participado los organismos científicos españoles más prestigiosos en las ciencias del mar.

Una vez fijada la tolerancia máxima de salinidad, la solución tiene que venir de la mano de los técnicos que siempre podrán diseñar una solución física del vertido para lograr la disolución natural de la salmuera en la propia masa de agua de mar, hasta alcanzar los límites de la tolerancia fijados.

No deben darse recetas generales, sino estudiar en cada caso la mejor solución. Siempre se podrá encontrar la forma óptima de vertido que evite completamente cualquier efecto medioambiental negativo. Las distintas tipologías existentes como puede ser la disolución de la

salmuera antes del vertido con más agua de mar (Carboneras y Javea), vertido en las desembocaduras de ramblas donde la posidonia se encuentra muy alejada (Alicante, Bahía de Palma, etc.) y el vertido en zonas de fuertes rompientes prueban que en muchos casos la solución puede ser muy sencilla.

En los casos más difíciles por la proximidad a pocos metros de la costa de la pradera de posidonia (los proyectos nuevos para Murcia o Baleares) se ha pedido una solución también sencilla pero más elaborada, consistente en distribuir la salmuera por diversos difusores de tal forma que al salir la salmuera y chocar con la propia agua de mar produce una agitación que hace que se homogeneice en salinidad toda la masa de agua de mar que circunda al difusor.

Evidentemente, esta visión “positiva” del efecto de la salmuera sobre el ecosistema marino, cuyas directrices llevan marcándose recientemente por parte del Ministerio de Medio Ambiente, no fueron aplicadas en un pasado, por lo que el impacto que se generó sobre *Posidonia oceanica* fue real.

Aun así, actualmente los emisarios de vertido de salmuera obedecen a un diseño que minimiza la afección a los ecosistemas, aunque al igual que en el caso de las depuradoras de aguas residuales, la buena o mala gestión de las plantas de tratamiento generará o no afección al medio marino.



Figura 17.- Erradicación de la posidonia tras la instalación de un emisario submarino en Ibiza

El funcionamiento de una desaladora depende de muchos factores. La limpieza de las membranas es uno de los que deben tenerse más en cuenta para minimizar costes y alargar la vida útil de las mismas.

Además de la alta concentración de sales, las descargas de salmuera contienen varios químicos usados en el sistema de pretratamiento, los que incluyen antiincrustantes, los cuales requieren ser analizados:

- a. Hipoclorito de sodio o cloro libre, usado en cloración para prevenir crecimiento biológico; Cloro libre y cloro residual.
- b. Cloruro, usado para la floculación y remoción de materia suspendida en el agua u otro coagulante y /o promotores de coagulación (ej poliacrilamida).
- c. Ácido sulfúrico o Hidroclórico utilizados para ajuste de pH.
- d. Hexametáfosfato de sodio y químicos similares, para prevenir la formación de incrustantes en tuberías y sobre las membranas.
- e. Bisulfito de Sodio usado para neutralizar cualquier remanente de cloro en el aguas de alimentación
- f. Trihalometanos,
- g. Bromodiclorometano,
- h. Dibromoclorometano,
- i. Tetracloroetano, tribromometano,
- j. 1-2 dicloroetano, tricloroetano.

La limpieza de las membranas que eventualmente se realiza 3 o 4 veces al año, y se utilizan químicos como ácidos débiles y detergentes (ácidos cítricos, sodio, polifosfato, y EDTA (ácido etildiaminotetraacético) y soda cáustica; por tanto la solución de limpieza de las membranas debe ser neutralizada antes de ser descargada al mar.

Para la no afección de las praderas de posidonia se han establecido unos objetivos de calidad para el parámetro salinidad en el caso de existencia de praderas de Posidonia oceanica en las proximidades de la zona de vertido. En efecto, las DIA que se han aprobado en los últimos años establecen de forma reiterada que no podrán sobrepasarse la concentración de 38,5 psu en más de un 25% de las observaciones ni la concentración de 40 psu en más de un 5% de las observaciones, lo que supone conseguir una dilución del orden de 1:30 del efluente de la ITAM

4.2.1 Vertido de aguas hipersalinas. Tipologías de vertido

Tal como hemos hecho con las aguas residuales, el mejor sistema para evaluar el impacto genérico de un vertido de aguas procedentes de una ITAM, es estudiando mediante la modelización matemática, diferentes vertidos tipo (todos ellos existentes en las Islas Baleares). En este caso se evaluará el impacto de:

Vertido de agua hipersalina realizado en la línea de costa. Evaluación de su impacto y definición del área de afección. Determinación del impacto que supone sobre una pradera de fanerógamas marinas.

- Vertido de agua hipersalina a través de un emisario submarino con difusores (optimizado)
- Vertido de agua hipersalina a través de un emisario submarino con difusores (sin optimizar)
- Vertido de agua hipersalina a través de un emisario submarino con boca única

El comportamiento general de las aguas de rechazo de plantas desaladoras una vez vertidas al mar, es similar en todos los casos independientemente del sistema de vertido que se emplee, debido básicamente a la diferencia de densidad entre el agua vertida y el medio receptor. Al entrar en contacto con el agua marina, se diluyen en ella formando una zona inicial de mezcla que será diferente en función del tipo de vertido. Cuanto mayor sea esta zona de mezcla, mayor será la dilución alcanzada. Posteriormente el vertido se hunde formando una capa densa que avanza por el fondo y cuya dilución es muy lenta. El espesor y la salinidad de esta capa son función de la dilución inicial y por tanto del tipo de vertido así como de sus características.

En el caso de un vertido en línea de costa a través de una rambla encauzada, la salmuera va descendiendo por la rambla hasta entrar en contacto con el agua de mar. Una vez llega al mar, se produce una zona de mezcla donde se consigue la mayor dilución. Lógicamente, la zona de mezcla, y por tanto la dilución, serán mayores en condiciones de oleaje que en situación de calma. Tras la zona de mezcla, se observa una zona de inmersión donde se hunde el vertido formando la capa hiperdensa, que va avanzando por el fondo incrementando muy lentamente

su dilución. El avance de esta capa por el fondo no es homogéneo en todas las direcciones, sino que va siguiendo la pendiente, y se va introduciendo y encaminando por todos los recovecos y “pasillos” que encuentra en su camino.

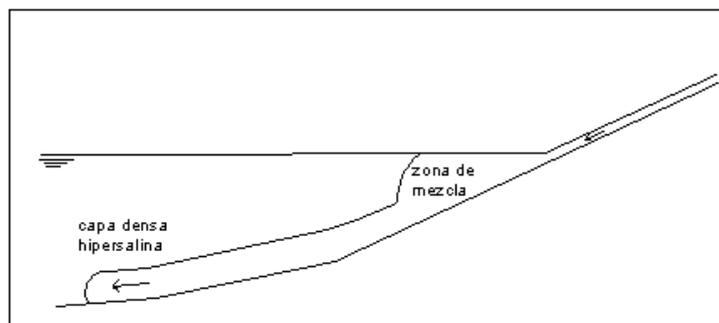


Figura 18.- Esquema de la pluma hipersalina deslizándose por el fondo

El Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) del CEDEX ha realizado una serie de ensayos en modelo reducido para estudiar el comportamiento de las aguas hipersalinas vertidas al mar mediante diferentes sistemas de vertido. Una de las tipologías de vertido ensayadas es la de vertido a través de rambla encauzada y, a una distancia de 800 m del área de vertido, las diluciones en el fondo no llegaban a 1:2 en situación de calma (peor de los casos) y apenas superaban el 1:3 con un oleaje moderado. En el campo cercano, se midieron diluciones de 1:1,5 en situación de calma e inferiores a 1:3 con oleaje moderado. Es decir, que mediante la tipología de vertido de rambla encauzada no se alcanzan la diluciones suficientes para garantizar la no afección de las praderas de posidonia, que deberían ser del orden de 1:30



Figura 19.- Detalle de un emisario submarino para el vertido de agua hipersalina. Los difusores de este tipo de emisarios suelen estar orientados con un ángulo entre 45° y 60° respecto al fondo marino.

Otra tipología de vertido en la línea de costa es el de vertido en escollera, en el que el comportamiento de la salmuera viene a ser el mismo que en el vertido a través de rambla: zona de mezcla, posterior hundimiento, y avance por el fondo. La zona de mezcla en este caso, varía mucho de una situación de calma a unas condiciones de oleaje, de ahí las diferencias entre las diluciones que se aprecian en los dos casos.

El agua hipersalina fluye a través de la o las bocas de salida del emisario superficial, cayendo directamente sobre la escollera de un dique. En condiciones de calma, el peor de los casos para la dilución, el vertido se introduce por los huecos de la escollera hasta llegar al fondo. La zona de mezcla apenas es visible, puesto que al haber presencia de rocas, el contacto del vertido con el agua de mar es mínimo. Por su mayor densidad, el vertido se hunde y va avanzando por el fondo entre las rocas hasta salir de la zona de escollera para continuar fluyendo pegado al lecho marino como se observa en la siguiente figura. El comportamiento del vertido a partir de ese momento es idéntico al del caso anterior, dejándose llevar por la pendiente y la orografía del fondo.

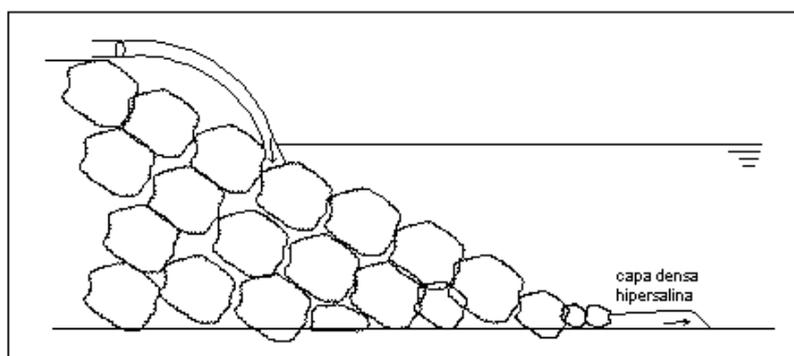


Figura 20.- pt

En caso de presencia de oleaje, puesto que éste va rompiendo sobre la escollera, se produce una importante zona de mezcla al entrar en contacto el vertido con el agua de mar. Tras esta zona de mezcla, las aguas hipersalinas ya diluidas terminan hundiéndose para formar la capa hiperdensa que seguirá fluyendo pegada al fondo como se observa en la siguiente figura

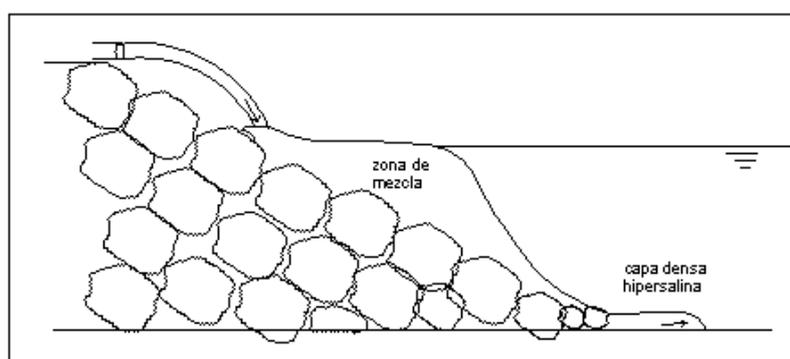


Figura 21.- pt

En el caso de la alternativa de vertido en escollera en la que se bombean los chorros hasta una zona de la superficie con suficiente profundidad, las rocas de la escollera no interfieren en la dilución. Por el contrario, el chorro cae directamente sobre la superficie libre del agua de mar, y va diluyéndose a medida que se acerca al fondo. En este caso, la zona de mezcla ocupa la columna entera, especialmente la zona más cercana al fondo, debido a las turbulencias que se producen al chocar el chorro con el lecho marino. Tras esta zona de mezcla, se forma la capa hiperdensa que empieza a fluir por el fondo, diluyéndose lentamente.

En este caso, los ensayos realizados por el CEPYC obtuvieron diluciones máximas de alrededor de 1:6 a pie de escollera en condiciones de calma. Al introducir un oleaje moderado

en estos ensayos, la situación cambia bastante, llegándose a alcanzar diluciones de hasta 1:36. Sin embargo, para mantenerse del lado de la seguridad resulta necesario tener en cuenta las condiciones de calma que corresponden al peor de los casos para la dilución de estas aguas.



Figura 22.- Agua hipersalina vertida a través de un difusor

En el caso de los emisarios submarinos, el diseño de estos es fundamental para conseguir las diluciones necesarias para la no afección de las praderas de fanerógamas marinas.

Se ha considerado un escenario común, con las siguientes características:

- Caudal de vertido: 14.000 m³/d
- Corriente en el medio receptor de 0,05 m/s, viento de 5 m/s
- Salinidad medio receptor: 37,5 psu
- Densidad medio receptor de 1025 kg/m³
- Salinidad efluente 67,5 psu
- Densidad efluente de 1045 kg/m³

Y se han considerado los siguientes escenarios:

- i. Emisario con un tramo difusor de 9 m con 4 boquillas de 0,1 m de diámetro, vertiendo en un ángulo vertical de 62° (optimizando la velocidad de salida del efluente)

- ii. Emisario con un tramo difusor de 9 m con 4 boquillas de 0,2 m de diámetro, vertiendo en un ángulo vertical de 62° (sin optimizar la velocidad de salida del efluente, lo que equivale a un mal diseño de emisario)
- iii. Emisario sin tramo difusor, con una sola salida de 0,5 m de diámetro, vertiendo en horizontal.

Para todos los escenarios se ha valorado la dilución conseguida a 10, 50, 100, 500 y 1000 metros de distancia del punto de vertido, así como la distancia a la que se consigue una dilución de 1:30, que es la que se requiere para conseguir un incremento de salinidad de 1 psu.

Caso	Dilución 10m	ΔSalinidad 10m	Dilución 50m	ΔSalinidad 50m	Dilución 100m	ΔSalinidad 100m	Dilución 500m	ΔSalinidad 500m	Dilución 1000m	ΔSalinidad 1000m	Distancia para dilución 1:30
i	1:42	0,71 psu	1:55	0,55 psu	1:64	0,47 psu	1:88	0,34 psu	1:130	0,23 psu	2,5 m
ii	1:7	4,29 psu	1:11	2,73 psu	1:12	2,50 psu	1:23	1,30 psu	1:49	0,61 psu	690 m
iii	1:4	7,50 psu	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 5. PT

Plantas de Tratamiento de Aguas marinas (ITAM) en Baleares

En la tabla que aparece a continuación, se presentan los datos de producción de agua tratada durante el segundo trimestre de 2017 en las plantas desalinizadoras (ITAM) que actualmente están en funcionamiento en las Islas Baleares.

Año	Trimestre	Desaladora Formentera	Desaladora Ibiza	Desaladora St. Antoni	Desaladora Bahía de Palma	Desaladora de Alcudia	Desaladora Andratx
Producción (m ³)							
2017	2º	210.041	991.303	1.138.606	2.074.777	708.664	757.510

Tabla 6. Producción desaladoras Islas Baleares

El total de agua tratada es de 5.880.901 metros cúbicos durante el período antes mencionado.

Si partimos de la base, siendo conservador, que el rendimiento de las diferentes ITAM estudiadas es de un 50% (por cada 2 litros de agua tratada, se obtiene 1 litro de agua para uso humano y 1 litro de agua de rechazo), tenemos un volumen de vertido de agua hipersalina igual al producido.

Total vertido de agua hipersalina durante el 2º trimestre de 2017 (teniendo en cuenta todas las ITAM que aparecen en la tabla anterior: 5.880.901 metros cúbicos / trimestre con una concentración de 68 psu. Dicha concentración dobla prácticamente la concentración normal del mar Mediterráneo en esta zona (37.7 PSU). Esta concentración de sales es la que habitualmente presenta el agua de rechazo en las ITAM situadas en el área mediterránea.

Tal como se ha comentado en la introducción de este capítulo, el impacto del agua hipersalina en el medio marino depende mucho de la ubicación, la configuración del vertido así como del mantenimiento de las infraestructuras. Si este último no es impecable, el impacto es enorme. La pluma de agua hipersalina se desplaza por el fondo aniquilando todo lo que encuentra a su paso. Cuando esta pluma llega a zonas hidrodinámicamente inactivas, la capa hipersalina no se diluye y permanece en el fondo, desplazándose a medida que se va alimentando con nueva agua de rechazo hasta impactar sobre áreas enormes.

El resultado de los cálculos de dilución indican que el vertido a través de rambla, sin dilución previa, es el peor escenario y más impactante. Este tipo de vertidos se han dado y se están produciendo actualmente en el litoral de las Islas Baleares. De hecho, la ITAM de la Bahía de Palma, que es la que más agua tratada y de rechazo produce, ha estado vertiendo durante años a través de la riera del Torrent Gros.

El vertido de más de 15.000.000 de metros cúbicos anuales de agua hipersalina en el litoral de las Islas Baleares supone un impacto enorme aunque difícil de cuantificar y más teniendo en cuenta que la mayoría de los puntos de vertido están cercanos a praderas de fanerógamas marinas.

El impacto es especialmente relevante allí donde no se ha diseñado un sistema de vertido adecuado o bien el vertido se realiza directamente en la línea de costa.

Si tenemos en cuenta una situación anticiclónica en verano, que se prolongue durante una semana de manera que el hidrodinamismo marino sea mínimo, tendríamos el siguiente escenario. A lo largo de una semana, el vertido de salmueras en el litoral balear puede ser de aproximadamente 290.000 metros cúbicos. Si la capa de mezcla hipersalina tuviera una potencia de 10 cm, discurriendo por el fondo marino, la superficie afectada sería de 2.900.000 metros cuadrados. Teniendo en cuenta que la mayoría de vertidos hipersalinos se realizan en zonas de praderas de fanerógamas marinas, el impacto es muy relevante. En el caso del vertido por rambla procedente de la desaladora de la Bahía de Palma, el impacto directo sobre los ecosistemas marinos se puede estimar en no menos de 1.5 millones de metros cuadrados.



Figura 23.- Vertido de agua hipersalina a través de una rambla en un tramo litoral de las Islas Baleares. La dilución que se consigue en estos casos es muy baja.

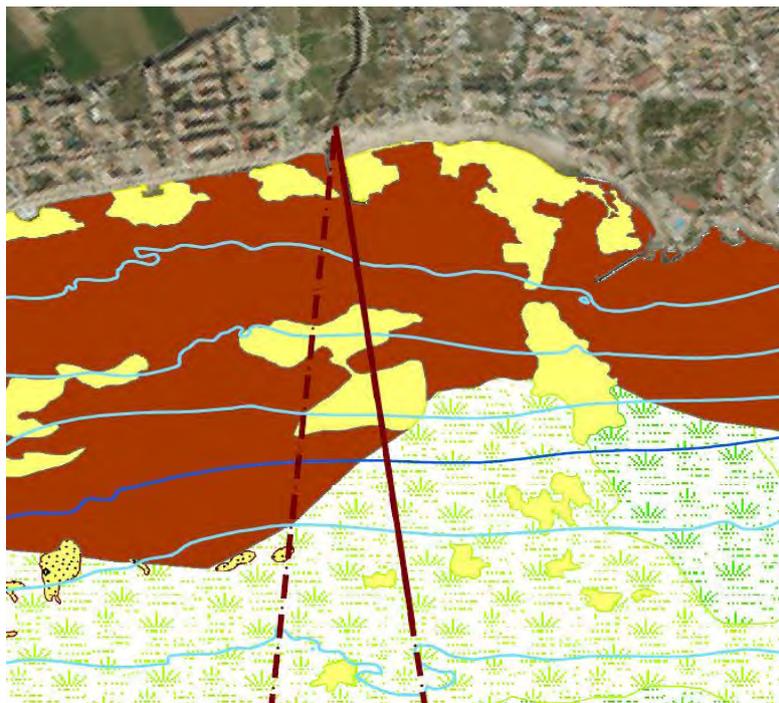


Figura 24.- Figura. Detalle del punto de vertido de la ITAM de Palma en la línea de costa.

4.3 Otros impactos. Dragados

Uno de los impactos más importantes que se producen sobre las praderas de fanerógamas marinas son aquellos derivados de las actividades de dragado y aportación de arenas para regenerar las playas. Estos impactos se producen básicamente debido a los siguientes factores:

- i) Afectación directa por enterramiento (aportación) o arranque (extracción) de las plantas.
- ii) Aumento considerable de la turbidez debido a las operaciones de extracción y aportación.
- iii) Incremento del epifitismo debido al aumento de materia orgánica.



Figura 25.- Plano de la cartografía de fanerógamas marinas de la Bahía de Sóller y detalle de las operaciones de regeneración de la playa.

Un caso muy significativo fue la regeneración llevada a cabo en Sóller a principios de esta década. Una migración de las arenas aportadas así como las operaciones de regeneración en sí mismas supusieron un importante incremento de la turbidez en la Bahía de Sóller, impactando de forma directa e importante sobre las praderas de fanerógamas marinas.

Al impacto producido por esta regeneración hay que sumarle la afección permanente que sufren, de forma sistemática, las aguas de la Bahía debido a la rotura del emisario submarino de Sóller que aporta las aguas residuales directamente al interior de la Bahía. La escasa renovación de las aguas debido a que se trata de un espacio semicerrado magnifican estos impactos. El aumento de turbidez permanente, además

de suponer un impacto directo y letal sobre la Posidonia, hace disminuir la transparencia de las aguas de manera que, las operaciones de fondeo son más dificultosas en el momento de elegir una zona con ausencia de Posidonia.



Figura 26.- Detalle de la operaciones de dragado y regeneración. Se puede observar el incremento de turbidez en las aguas de la bahía de Sóller





Figura 27.- Matas de Posidonia oceánica del fondo de la Bahía de Sóller afectadas por la turbidez causada por el aumento de materias en suspensión debido a las operaciones de dragado y regeneración de la playa.

5. Legislación ambiental asociada a la Posidonia y gestión de fondeos

5.1 Protección legal de las praderas de *P.oceanica*. Introducción y objetivos

Las fanerógamas marinas, y entre ellas las praderas de Posidonia gozan de protección legal tanto a nivel internacional como nacional.

La siguiente tabla presenta un resumen del estatus legal de las praderas de *P.oceanica* a nivel supranacional, internacional y autonómico.

Unión Europea:

Convenio de Berna

P.oceanica está incluida en el Anexo I de la Convención de Berna como especie de flora estrictamente protegida.

El Convenio de Berna, relativo a la conservación de la vida silvestre y del medio natural en

Europa, debe su valor a tres características fundamentales: su carácter generalista, la concepción de la lista única de especies y la incorporación de la política conservacionista en la planificación económica, especialmente en lo relacionado con la protección de los hábitats.

Es el primer tratado internacional que da un tratamiento general a la gestión de la vida silvestre, elaborando una serie de medidas de protección de para plantas y animales.

P.oceanica está incluida dentro del apéndice I, especies de flora estrictamente protegidas. Esto significa que los estados firmantes (entre ellos España) adoptarán las medidas legislativas y reglamentarias apropiadas y necesarias para asegurar su conservación

Directiva Hábitats.

La Directiva de Hábitats de la Unión Europea (92/42 E del 21/05/1992) y su posterior adaptación al progreso técnico y científico a través de la Directiva 97/62/CE del 27 de octubre de 1997, incluyen a las praderas de *Posidonia oceanica* en el Anexo 1, como hábitat prioritario a conservar dentro del territorio de la Unión Europea, para cuya conservación es necesario designar zonas especiales de conservación.

Los Estados miembros deben fijar las medidas de conservación necesarias que implicarán, en su caso, adecuados planes de gestión, específicos a los lugares o integrados en otros planes de desarrollo, y las apropiadas medidas reglamentarias, administrativas o contractuales, que respondan a las exigencias ecológicas de conservación de los tipos de hábitats naturales del Anexo I y de las especies del Anexo II presentes en los lugares.

Los Estados miembros adoptarán las medidas apropiadas para evitar, en las zonas especiales de conservación, el deterioro de los hábitats naturales.

Nivel mediterráneo

Posidonia oceanica está contemplada dentro del Anejo II del Convenio de Barcelona sobre la protección del medio marino y del litoral y está considerada como una de las principales prioridades a conservar en el Plan de Acción. También están incluidas otras fanerógamas como *Zostera marina* y *Zostera noltii*.

Nivel estatal

Francia

Posidonia está protegida por ley en Francia, en el marco de la Ley de protección de la naturaleza, de 10 de julio de 1976 y mediante el Decreto de 19 de julio de 1988 sobre la lista de especies vegetales marinas protegidas. Se prohíbe destruir, vender, vender, vender o

comprar y usar todo o parte de la planta.

Adicionalmente, el decreto de 20 de septiembre de 1989 (código de urbanismo, medidas especiales para la zona costera) establece que se protegerán los lugares que constituyen un sitio o paisaje notable, característico del patrimonio natural y cultural de la costa, sean necesarios para conservar el equilibrio biológico o presenten interés ecológico, entre ellos, ambientes que contienen concentraciones naturales de especies animales o vegetales tales como las praderas de fanerógamas.

Albania

Albania, los prados marinos están protegidos en el marco jurídico nacional por una Decisión del Consejo de Ministros sobre especies protegidas (UNEP-MAP-RAC / SPA 2007).

Croacia,

Posidonia oceanica es una especie protegida a nivel nacional por la ordenanza sobre "Proclamación del Taxa Salvaje como Protegido o Estrictamente Protegido" (Boletín Oficial N° 7/2006) (UNEP-MAP RAC / SPA 2007)

Eslovenia

En Eslovenia *Posidonia oceanica* figura en el decreto del gobierno como una especie rara y en peligro de extinción desde 2002.

Italia

Liguria aprobó en 2001 un reglamento de Estudios de Impaco Ambiental para proyectos de planificación física en el sitio de interés comunitario (Directiva Hábitat), que incluye muchos hábitats de *Posidonia oceanica* (Deliberazione di Giunta Regionale n ° 646, de 8 de junio de 2001). También desarrollaron reglamentos para evaluar el estado de conservación y el grado de impacto de los diferentes desarrollos costeros en los prados (Deliberazione di Giunta Regionale n° 773 de 2003, Deliberazione di Giunta Regionale n° 1533 de 2005, respectivamente).

Turquía

En Turquía, *P. oceánica* está protegida a nivel nacional por la "Circular sobre mar y aguas interiores no. 37/1 ".

Montenegro

Posidonia oceanica está protegida por la legislación nacional como especie rara o en peligro de extinción. Las praderas también están protegidas de la pesca de arrastre por una prohibición nacional de pesca (la pesca de arrastre está prohibida a menos de 50m de profundidad o a dos millas náuticas de la costa) (Gaceta Nacional 55/03).

España

El régimen jurídico básico de la conservación, uso sostenible, mejora y restauración del patrimonio natural y de la biodiversidad española vienen recogidos en la Ley 42_2007 13 de diciembre del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, en la que en su Anexo I las praderas de *Posidonia oceanica* son un tipo de hábitat de interés comunitario cuya conservación requiere la designación de Zonas de Especial Conservación. Por tanto, la presencia de esta especie es motivo suficiente para la designación de espacios de la red Natura 2000, que contribuyan al mantenimiento o restablecimiento del estado de conservación favorable de los hábitats naturales en su área de distribución natural. En el Real Decreto 139/2011, las poblaciones de *Nanozostera noltii* de Canarias son recogidas como especie vulnerable en el Catálogo Español de Especies Amenazadas mientras que *Zostera marina*, *Nanozostera noltii* del Atlántico y del Mediterráneo y *Posidonia oceanica* se encuentran en el Listado de Especies silvestres en Régimen de Protección Especial.

Además el Reglamento CE Nº 1967/2006 relativo a las medidas de gestión para la explotación sostenible de los recursos pesqueros en el Mar Mediterráneo se regula el ejercicio de la pesca con artes de arrastre de fondo, especifica que esta actividad sólo podrá ejercerse en fondos superiores a 50 metros de profundidad, que coincide con el límite profundo de distribución de *P. oceanica*. Por él, queda prohibida la pesca con redes de arrastre, dragas, artes de trampa, redes de cerco con jareta, redes de tiro desde embarcación, jábegas o redes similares por encima de los lechos de vegetación marina constituida, en particular, por *Posidonia oceanica* u otras fanerógamas marinas.

Autonómico

València

Posidonia está incluida en la legislación de la Comunidad Valenciana mediante la Orden de 23 de enero de 1992, en la que se regula las actividades sobre estos ecosistemas. En el artículo primero se prohíbe la destrucción de las praderas de fanerógamas marinas por ser zonas de interés pesquero. En el artículo segundo establece que la Direcció General de Pesca i Relacions Agràries, elaborará un plan que establecerá las medidas de ordenación de aquellas actividades pesqueras que inciden sobre las praderas de fanerógamas marinas.

Catalunya

Las praderas de posidonia se recogen en la Orden 91.210.098 (DOGC núm. 1479, pág. 4395, del 12/8/1991), donde se declaran protegidas todas las especies de fanerógamas marinas presentes en el litoral, y se define su localización y la regulación de la pesca en estos ecosistemas.

Illes Balears

El gobierno Balear aprobó la Ley 17 del 2001 de la protección de las praderas de Posidonia de la Reserva Marina de Formentera e Eivissa, mientras que para el resto de Baleares no existe protección de carácter autonómico.

En mayo de 2017 se publicó el borrador del proyecto de Decreto sobre la protección de la *P.oceanica* a las islas Baleares. En octubre de 2017 el Decreto salió a información pública.

Los principales aspectos del Decreto son:

El Gobierno Balear delimitará y calificará las praderas en función de su estado de conservación como: praderas de alto valor y praderas a restaurar. (El listado se adjunta en los anexos del decreto).

La delimitación cartográfica de las praderas se hará accesible a público y navegantes.

Se generará un inventario de impactos sobre las praderas.

Según el régimen de protección existente (art. 57 de la ley 42/2007) está prohibido cortar, mutilar, arrancar o destruir las praderas, incluyendo el fondeo incontrolado sobre praderas.

No se imponen restricciones a:

- Fondeos ecológicos
- Actividades legalizadas que supongan alteración de la superficie de la pradera o a su dinámica en un ámbito reducido (< 1% de superficie total).

El art. 7 del borrador prohíbe el fondeo sobre posidonia o en las inmediaciones de la misma

(para evitar afectación por cadenas) y el vertido de aguas de sentina ni de residuos.

Se exonerará de responsabilidad el crucerista que fondee sobre posidonia cuando:

- Se trate de una emergencia.
- La pradera no sea visible.
- No esté balizada o señalizada.
- No exista cartografía oficial a disposición, física o telemática, del crucerista.

El órgano substantivo podrá autorizar instalaciones de campos de boyas sobre posidonia, pero nunca sobre praderas de alto valor.

Por último, para aquellas praderas dentro de espacios naturales de la red Natura 2000, se aplicará la normativa descrita en el plan gestor del espacio.

Hasta que no se disponga de cartografía detallada de las praderas, se utilizará la que está disponible en la herramienta de ayuda al fondeo. (ver apartado “Herramientas útiles”).

5.2 Efectos de los fondeos sobre la Posidonia.

A continuación se resumen los principales impactos que el fondeo puede generar sobre la pradera:

Impacto físico sobre las praderas.

El impacto depende tanto del tipo de ancla como, sobre todo, de la fase de la maniobra de fondeo.

Los estudios realizados indican que la fase del arriado es sin duda la más potencialmente destructiva ya que el ancla rompe los rizomas sobre los que se ha depositado. El impacto aumenta drásticamente si el ancla garrea antes de clavarse en el sustrato o bien cuando es izada.

Adicionalmente, cuando el ancla está en el fondo, la cadena daña las hojas de la pradera. Este impacto depende del hidrodinamismo y de las condiciones meteorológicas de la zona.

Existen estudios que indican que el tipo de ancla “Hall” es el que menos impacto genera, aunque las pruebas se realizaron con embarcaciones de pequeño tamaño (hasta 12m) y no es claro que los resultados puedan extrapolarse a anclas mayores.

Además, el uso de buenas prácticas de fondeo puede influir enormemente sobre el número de rizomas afectados. Por ejemplo, situar al barco a motor sobre el ancla antes de izarla minimiza el impacto.

Es importante indicar que la posidonia posee cierta capacidad de auto recuperación a las agresiones físicas como las de las anclas, que se ve superada cuando el fondeo es intensivo. Existen estudios que sugieren que es imprescindible la adopción de mecanismos alternativos al fondeo libre cuando la frecuentación es de más de 2 fondeos /hectárea y día como media anual o cuando se supera un máximo de 10 fondeos / hectárea y día en temporada alta.

En estos casos se recomienda el uso de anclas tipo ecológico, cuya inocuidad para la posidonia ha sido demostrada por varios estudios (ver apartado siguiente).

Efectos indirectos del fondeo sobre las praderas:

Los efectos indirectos del fondeo son:

- Propagación de especies invasoras: típicamente *Caulerpa taxifolia* y *C. racemosa*. En general existe el consenso científico que estas algas invasoras no son capaces de colonizar praderas de posidonia en buen estado, pero que al contrario encuentran un sustrato ideal en praderas degradadas, por ejemplo por fondeo excesivo. Además cabe recordar que estas algas tienen un gran poder de reproducción vegetativo y que por lo tanto sus fragmentos, arrancados por las anclas, dan lugar a nuevas zonas de infestación.
- Riesgos de contaminación por aguas negras: la alta frecuentación de yates fondeados en una zona que, al ser abrigada por definición, es probable que tenga una renovación de agua muy limitada, puede conllevar problemas tanto de salud para los bañistas como ambientales, por el vertido de aguas con carga bacteriana y por la eutrofización (o exceso de nutrientes) de las aguas. En algunas zonas de fondeo regulado en Francia (llamadas ZMEL por *zone de mouillage et équipements légers*) solo se permite el acceso a yates con sistema de contención de aguas negras.

- Riesgo de contaminación por otro tipo de productos: productos químicos como algunos detergentes u otros utilizados para el mantenimiento de los barcos son altamente tóxicos. En las ZMEL está prohibida cualquier actividad de mantenimiento de barcos. Otros estudios indican que el antifouling liberado por el casco de los barcos puede tener efecto sobre el ecosistema local.

El fondeo intensivo en zonas concretas de la costa también conlleva otros posibles impactos ambientales, más allá de las praderas de fanerógamas, como son perturbación de otras sensibles (p.e. aves que anidan en acantilados), o perturbación de la franja costera por donde los cruceristas desembarcan.

5.3 Fondeos ecológicos:

Con el fin de reducir la presión erosiva del anclaje libre y amarre en praderas poco profundas, se están proporcionando cada vez más este tipo de fondeos a los usuarios de barcos. Cuando estos amarres están disponibles, los patrones prefieren usarlos porque son más seguros que el anclaje libre. Sin embargo, en las zonas de alta presión de fondeo, el despliegue de fondeos fijos habitualmente no es suficiente en sí mismo y debe ser reforzado por una regularización del anclaje libre.

La necesidad de tener cierto control y gestión sobre los fondeos fijos, hace que, por lo general, se instalen dentro de zonas naturales protegidas que ya han previsto medidas de control específicas como parte de sus planes de gestión.

Incluso en estas zonas, la instalación de fondeos fijos suele requerir la aprobación de las administraciones nacionales o regionales responsables de la gestión costera. La instalación de boyas de fondeo debe ir precedida de estudios preliminares detallados para identificar las zonas con mayor presión de anclaje de barcos y para registrar el tamaño, la distribución y el número de barcos presentes.

Estudios sobre la resistencia y espesor del sustrato, y sobre la hidrodinámica local, ayudan a optimizar aún más los lugares de amarre y su diseño.

Se ha publicado una guía para los amarres ecológicos permanentes :

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

Francour P., Magréau J.F., Mannoni P.A., Cottalorda J.M., Gratiot J. 2006. Management guide for Marine Protected Areas of the Mediterranean sea, Permanent Ecological Moorings. Université de Nice-Sophia Antipolis & Parc National de Port-Cros, Nice : 68 pp.

De acuerdo con esta guía, los fondeos deben ser preferentemente instalados en claros de pradera, si existen, y se proponen los siguientes sistemas:

Tornillos de arena

En los parches de arena, los tornillos de arena son los más adecuados. Consisten en un dispositivo de acero galvanizado, hecho de un eje con uno o varios discos en forma de hélice (tornillo de Arquímedes). Los tornillos de arena tienen generalmente de 0,8 a 3 metros de largo. Más allá de este tamaño, su instalación se hace más difícil y requiere barcos más grandes para su instalación.

Los modelos más grandes están formados por tubo de 60mm con un diámetro de disco de 400mm. En caso de que se necesite más resistencia a la tracción los tornillos de arena pueden instalarse en fila, conectados para formar un amarre más resistente. La resistencia del tornillo depende de su profundidad, diámetro y de la naturaleza del terreno (resistencia mecánica del sedimento y del efecto succión generado).

El impacto del tornillo de arena en la arena y el barro es extremadamente bajo porque el área ocupada por el dispositivo es muy limitada, con sólo la cabeza sobresaliendo unos centímetros del sustrato. Además, no se produce ningún movimiento de material durante su instalación del ancla y por lo tanto, pueden ser fácilmente removidos y reinstalados en nuevas ubicaciones.

Los tornillos son inmunes a efectos de descalce debido a corrientes que sufren otro tipo de fondeos como los muertos de hormigón.

Es necesario realizar estudios previos sobre el sustrato antes de diseñar el tipo de tornillo a instalar, incluyendo tests de resistencia mecánica (con penetrómetro o Vaane test), además de conocer la profundidad de sedimento existente.

Tests realizados por fabricantes indican que la fuerza de retención de las anclas es de hasta 900 kgs. (2000 libras de empuje).



Figura 28.- Ejemplos de tornillos de arena. Fuente: Neptune Environment

No hay datos publicados de costes aproximados para barcos mayores de 24m. pero a nivel orientativo se indica que para barcos de hasta 18m el precio estimado es de 1500€ para una anclaje formado por tres tornillos (precio del suministrador, sin transporte ni instalación).

Bloques de hormigón.

En grandes parcelas arenosas, también se pueden utilizar los amarres de peso muerto tradicionales, pero son necesarios barcos grandes, grúas, etc. para manejarlos y bajarlos al fondo marino.

Los muertos son habitualmente de hormigón reforzado con varillas de hierro. Su eficacia se basa en su peso y el efecto de succión de la base.

También ocupan un área mayor y existe riesgo de deslizamiento, especialmente en zonas afectadas por corrientes, porque el volumen del peso muerto sobre el lecho marino genera turbulencias hidráulicas y produce efectos de lavado de la base del peso muerto.

Existen estudios que demuestran que campos de muertos de hormigón mal diseñados e instalados pueden tener un efecto peor sobre la pradera que el fondeo libre, debido sobre todo al movimiento de los bloques debido a temporales o garreo de barcos. La instalación de muertos de hormigón debe estar precedida por un estudio de condiciones metoceanicas y del tipo de barco que utilizará el amarre.

No hay datos publicados de costes aproximados para barcos mayores de 24 m. A nivel orientativo se indica que para barcos de hasta 18m el precio estimado es de 100 € por muerto (precio del suministrador, sin transporte ni instalación).

Anclajes de roca

En zonas rocosas, se pueden instalar anclajes cementados a la roca, consistentes en una placa y un anillo de anclaje unidas con tornillos y resina u otro tipo de adhesivo a la roca. La roca tiene que ser compacta y sin fracturas. Su impacto puede considerarse insignificante porque el área ocupada por este dispositivo es muy pequeña (placa estándar: 0,15 m²). Sin embargo, este sistema de anclaje no es reversible y las piezas de anclaje no son reutilizables.



Tabla 7. Anclaje en roca. Fuente Neptune Environment

No hay datos publicados de costes aproximados para barcos mayores de 24 m. A nivel orientativo se indica que para barcos de hasta 18m el precio estimado es de 550 € por placa (precio del suministrador, sin transporte ni instalación).

Anclajes en espiral.

En prados sin claros y con una pradera bien desarrollada, se puede utilizar un tipo de fondeo formado por una espiral o bobina de acero galvanizado (en forma de sacacorchos) que está diseñado para penetrar en la pradera y proporcionar un fuerte punto de anclaje.

La espiral encuentra su camino a través de la red de rizomas de posidonia sin cortar, triturar o destruir las plantas.

Al igual que el tornillo de arena, su instalación es reversible y puede ser removida y reutilizada.

Al igual que con los tornillos de arena es imprescindible asegurarse de que el sedimento tiene la potencia suficiente para al ancla escogida. Las medidas del ancla dependerán de las condiciones del sustrato y meteoceánicas y del tipo de barco que los utilizará. El diámetro exterior de la espiral es típicamente de 350 mm y la longitud entre 800 y 1600 mm. El peso es de entre 25 42 kgs. En caso de barcos de gran tamaño puede conectarse varias espirales.

No hay datos publicados de costes aproximados para barcos mayores de 24 m. A nivel orientativo se indica que para barcos de hasta 18m el precio estimado es de 1500 € por un conjunto de tres anclas helicoidales en serie (precio del suministrador, sin transporte ni instalación).

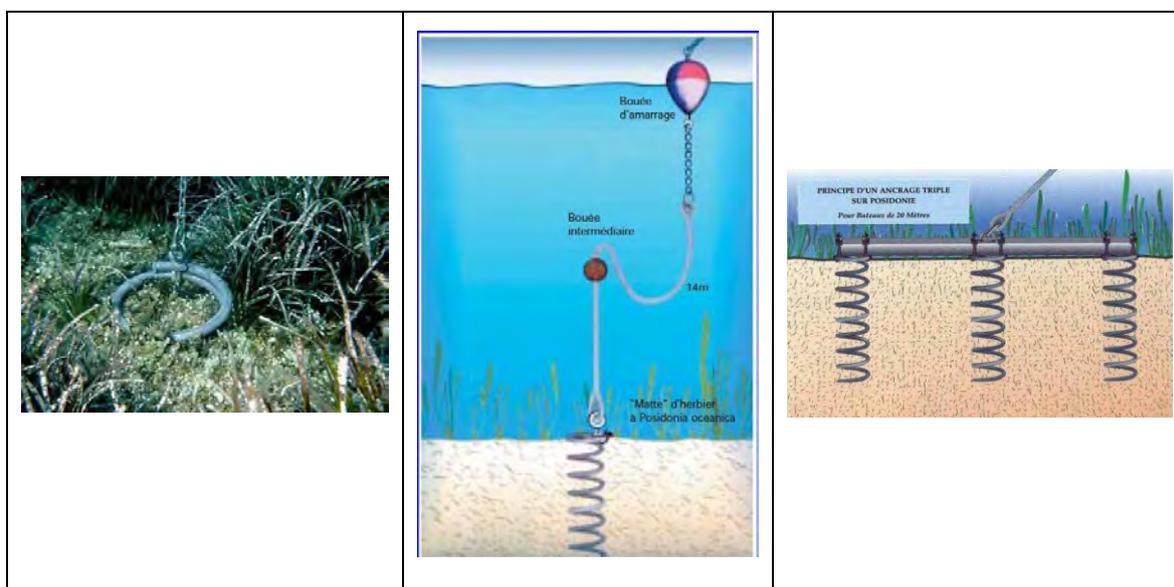


Figura 29.- Anclas en espiral. Fuente Neptune Environment

Según estudios realizados por el fabricante de las anclas helicoidales bajo la supervisión del Centre d'Études Techniques de l'Équipement d'Aix en Provence, una ancla helicoidal en fondo de arena genera una resistencia de 3,30 t, equivalente a un muerto de hormigón de 6 t.

La misma ancla sobre pradera de Posidonia genera una resistencia de 2,45 t, equivalente a un muerto de hormigón de 4,5 t.

A nivel indicativo, un velero de 16 m sometido a un viento de 120 km/h, ejerce una fuerza sobre la línea de fondeo de 1,4 t.

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

La instalación de tornillos de arena, anclajes en roca y anclajes en espiral en la pradera no requieren equipos pesados, lo que ayuda a reducir daños secundarios. Sin embargo, requieren buzos especializados. El uso de buzos tiene la ventaja añadida de asegurar una instalación precisa del ancla en sitios óptimos (por ejemplo, pequeños parches de arena dentro de la pradera).

Líneas de fondeo

Los elementos de amarre intermedios que sujetan el barco al anclaje permanente también deben evitar impactar en el lecho marino, por medio de un flotador unido a la línea de amarre. El flotador asegura que la parte inferior de la línea de amarre se levanta del sustrato y así evita cualquier contacto con las praderas. Además, la atracción del flotador actúa como primer amortiguador (por su flotabilidad y por la resistencia al movimiento dentro del agua), mientras que la longitud y el peso de la cadena colgante o cuerda elástica absorben tirones más grandes.

Se comercializan también elementos de fondeo para proporcionar elasticidad al sistema basados en muelles, elastómeros, etc.

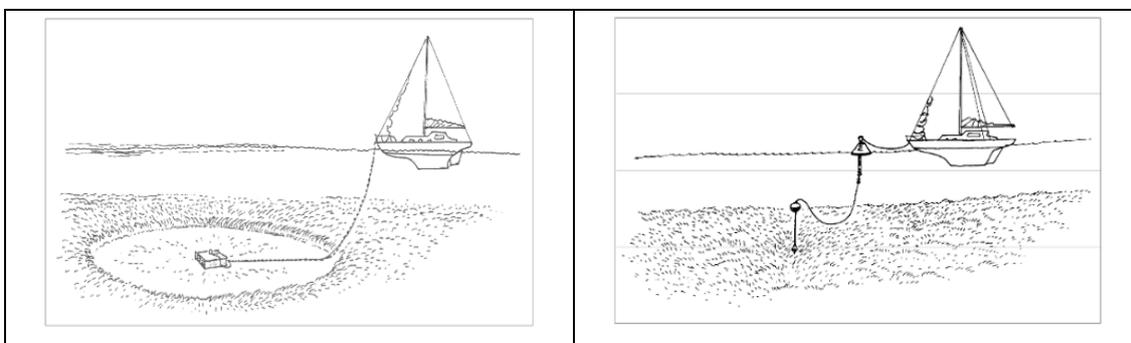


Figura 30.- Diferencias entre un fondeo fijo convencional (izquierda) y ecológico (derecha). Fuente Neptune Environment.

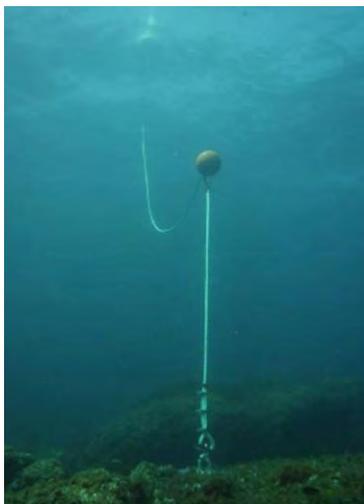


Figura 31.- Detalle de una línea de fondeo ecológica en la que la flotabilidad de la boya intermedia asegura que ningún elemento toca el sustrato, además de amortiguar los impactos sobre el fondeo.

Los primeros experimentos con fondeos ecológicos se llevaron a cabo en la década de 1990 en el Parque Nacional de Port Croix (Francia).

En la zona protegida de Cerbère-Banyuls (Francia), en 2003 se instalaron 30 amarres (placas clavadas en la roca y tornillos de arena), pero el anclaje libre no estaba prohibido ya que el parque tenía una presión de navegación relativamente baja. Dos años más tarde, el fondeo libre se redujo en un 90% (Licari, 2006). La instalación, el mantenimiento y la gestión de estos amarres fueron contratadas a una empresa privada. Los costos de instalación de 15 fondeos (proyecto e instalación) fue de 63.000 € (3.315 € por instalación de ancla clavada en la roca , 3.980 € por tornillo de arena), con un coste de mantenimiento anual de 260 € por fondeo. Los tornillos de arena se retiran en otoño y se vuelven a instalar cada primavera. El uso de los fondeos es gratuito.

Las primeras experiencias de amarre en bahías protegidas como Port Cross y Es Port de Cabrera han revelado un problema secundario asociado a las visitas intensivas: desechos de embarcaciones que aumentan los nutrientes orgánicos en las aguas y sedimentos circundantes, especialmente en bahías con poco intercambio de agua. Los fondeos permanentes pueden agravar este problema porque el residuo orgánico sólido se hunde repetidamente en el mismo lugar y la zona es frecuentemente sombreada por el barco amarrado. El declive de las praderas alrededor de los amarres en estas áreas han sido

observados (Marbà et al., 2002). Por lo tanto, el uso de amarres permanentes, debería estar limitada a barcos con depósitos de aguas grises y negras.

Un impacto negativo adicional podría provenir de la acumulación de fragmentos de pinturas antiincrustantes en el fondo de embarcaciones amarradas. Los efectos venenosos de estos productos han sido demostrados para muchas especies, aunque todavía no están claras para *P. oceanica*. Sin embargo, una gran acumulación de residuos antivegetativos puede afectar la fauna y flora de este hábitat.

5.4 Ejemplos de gestión de los fondeos sobre Posidonia en el ámbito del Mediterráneo occidental

5.4.1 España

Parque Nacional de Cabrera

En 1993, se prohibió el anclaje libre y se instalaron 50 amarres consistentes en pesos muertos de hormigón de 1,3 a 2,5 metros de ancho, sobre el pradera de Posidonia y en parcelas arenosas, en la bahía protegida de Es Port, que soporta casi 380 visitantes por día en verano.

El coste global de la instalación fue de 200.000 €, y los costes anuales de mantenimiento y gestión son de alrededor del 15% de este coste inicial de instalación (Moreno 2006).

Parque Natural Illes Medes.

En la zona estrictamente protegida de las islas Medas, el fondeo libre se prohibió en 1994 y se instalaron 54 fondeos y el. Las boyas están distribuidas entre boyas para particulares (segregadas por eslora) y para embarcaciones de centros de buceo.

Islas Baleares

Un proyecto a gran escala (EU Life-Posidonia, LIFE00 / NAT / E / 7303) destinado a proteger las praderas ha implantado fondeos alrededor de las Islas Baleares. Desde 2006, 400 amarres permanentes (Tornillos de arena, pesos muertos y anclajes a la roca) se han instalado en las aguas costeras de Mallorca, Menorca, Ibiza y Formentera. Sin embargo, dada la alta demanda de fondeos durante los meses de verano, esta estrategia debe ser reforzada mediante una clara prohibición de fondeo libre, que se controle eficazmente a través de la vigilancia regular.

5.4.2 Francia.

5.4.2.1 Estrategia francesa de regulación de los fondeos

Francia es el país de nuestro entorno que más ha trabajado para integrar los intereses de los cruceristas con la protección del entorno. Fruto de este trabajo se definió, en 2010, una estrategia para la gestión del fondeo y de sus impactos ambientales ***Strategie méditerranéenne de gestion des mouillages de navires de plaisance. Prefecture maritime mediterranee.***

La estrategia francesa se basa en los siguientes principios:

- El mar es un bien común y el dominio público marítimo es inalienable.
- El desarrollo de la navegación de crucero no puede desarrollarse en detrimento de otros usos.
- El desarrollo de la navegación de crucero debe respetar la calidad ambiental y paisajística de los lugares.
- El fondeo no debe ser una estrategia para responder a la insuficiencia de plazas portuarias.
- El fondeo debe ser una práctica temporal y estacional.
- La libertad del crucerista debe ir acompañada por un comportamiento responsable con el ambiente y los otros usos del medio.

La estrategia francesa evalúa diversas aproximaciones a los retos ambientales que pueden suponer los fondeos; des del fondeo libre a su prohibición, pasando por diversos grados de regularización.

La siguiente tabla presenta un resumen de las diferentes estrategias y sus pros y contras.

Opciones posibles	Inconvenientes	Ventajas	¿Cuándo se puede aplicar?	Seguimiento
Fondeo libre.	Degradación de la pradera. Diseminación de especies invasoras. Potenciales conflictos de uso de la zona. Fondeo de seguridad limitada (garreo).	Libertad del crucerista. Coste nulo.	Zona de riesgo ambiental bajo. Baja frecuentación. Sin conflictos de uso importantes.	Recordatorio de la reglamentación de fondeo aplicable a cada zona. Promover un buen conocimiento de la zona.

Opciones posibles	Inconvenientes	Ventajas	¿Cuándo se puede aplicar?	Seguimiento
Prohibición de fondeo.	Respeto limitado de la prohibición. Baja aceptación por parte de los cruceristas. Falta de control.	Normativa simple. Coste nulo. Protección ambiental fuerte si se respeta.	Riesgos ambientales fuertes. Seguridad para la navegación. Infraestructuras submarinas. Zonas de baño.	Información al crucerista. Controles.
Fondeo con ancla organizado. ¹	Difícil de implementar. Necesidad de controles exhaustivos	Bajo coste. Buena aceptación social. Limitación de la frecuencia de impactos.	Zonas con riesgos ambientales fuertes sin campos de boyas. Zonas de alta frecuentación pero de corta duración.	Información, balizado de las zonas, limitación del tiempo de fondeo y control del tipo de barcos (con tanques de aguas negras).
Fondeo individual con muertos	Utilización de muertos, con su impacto ambiental (ocupación del terreno y presencia de cadenas arrastradas por el sustrato) Privatización del dominio público marítimo.	Procedimiento simple.	Zonas de baja frecuentación y en época estival.	Seguimiento administrativo para el seguimiento de la legalización de los fondeos. En algunos casos se obliga a retirarlos al final de la temporada-
Campos de boyas con fondeos ecológicos.	Coste de instalación. Posible impacto paisajístico Procedimiento administrativo complejo para autorizarlos.	Estudio de impacto. Limitación de la duración. Evita dispersión de yates por otras zonas.	Zonas con frecuentación importante concentrada en verano. Zonas con riesgos ambientales grandes.	Se debe prohibir el fondeo libre en los alrededores. Hay que gestionar correctamente al acceso a tierra de los cruceristas para evitar impactos.

¹ Se regulan las condiciones del fondeo: localización (sobre arena), limitación del número de barcos y/o duración del fondeo, obligación de disponer de tanques de retención de aguas negras, etc.

Tabla 8. Cuadro resumen de la estrategia francesa de regulación de fondeos.

5.4.2.2 Ejemplos específicos de gestión

A continuación se presentan, a modo de ejemplo, diversos casos de regulación de los fondeos en zonas con retos parecidos a los que ocurren en las Islas Baleares: alta frecuentación de yates, entre los cuales los de grandes esloras, en zonas protegidas legalmente, con una orografía formada por calas y con presencia de Posidonia. Por proximidad geográfica se han escogido ejemplos en Francia (Costa Azul) e Italia (Cerdeña).

Bahía de Pampelone

Pampelonne es una bahía situada al sur de St. Tropez, incluida en una zona Natura 2000 Corniche Varoise, que según los censos realizados puede llegar a recibir 350 embarcaciones al día, incluidos 70 grandes yates.

Investigaciones científicas desvelaron que varias hectáreas de la pradera de Posidonia estaba siendo afectada por los fondeos, con matas arrancadas o aplastadas por cadenas.

Adicionalmente se evidenció que las zonas afectadas estaban siendo recolonizadas por especies invasoras (*Caulerpa taxifolia* y *Caulerpa racemosa*), que además se estaban expandiendo por la zona.

En 2012 se realizaron dos talleres con representantes de las federaciones de navegantes, los puertos de la zona, la industria náutica, consultores, clubes de playa, municipios y la administración marítima, con el objetivo de proponer medidas para que las actividades náuticas puedan desarrollarse en equilibrio con la protección de los hábitats naturales en la bahía.

Las conclusiones de estos estudios conducen a acciones futuras que especifican las medidas que fueron introducidas gradualmente desde la temporada 2013. Su objetivo es proponer alternativas a las prácticas actuales para combinar la actividad socioeconómica del lugar (especialmente ligada al sector náutico), preservando la integridad del medio marino.

Se acordaron las siguientes medidas:

- Optimización del anclaje en áreas arenosas cerca de la costa:
- Reducir en un tercio el tamaño de la zona prohibida a embarcaciones a motor

- Reposicionar las autorizaciones de ocupación temporal para los establecimientos comerciales de la playa en la zona desocupada por la disminución de la zona prohibida a embarcaciones.
- Adopción de diversas medidas de sensibilización y comunicación para informar a los usuarios de la naturaleza delicada del sitio y guiarlos para que se anclen lejos de la Posidonia, en la vasta zona arenosa del sur de la bahía, incluyendo:
 - Patrullas marinas proporcionando información y concienciación,
 - Reenvío de información a través de los establecimientos de playa, y mensajes de radio
 - Cooperación con clubes náuticos y federaciones de yates,
 - Aplicación de cartografía para Smartphone (ver apartados siguientes).
 - Balizamiento del límite entre los lechos arenosos y las praderas para facilitar la localización, de los enclaves de fondeo adecuados.
- Desarrollo de una zona de fondeo y equipos ligeros (ZMEL) en la parte norte, junto con la prohibición de amarre en la pradera. Este ZMEL estará equipado con sistemas de fondeo ecológico e incluirá:
 - Un área de residentes, para pequeñas unidades.
 - Un área para “pasantes”, para unidades menores de 24 metros, y un desplazamiento de 50 toneladas
 - Dos áreas para “pasantes”, para unidades menores de 50 metros, y un desplazamiento de 500 toneladas.
- Autorización de permanencia sobre la pradera a barcos con posicionamiento dinámico, siempre que la profundidad sea de más de 10 metros.

A continuación se muestra una figura donde se representan las diferentes zonas:

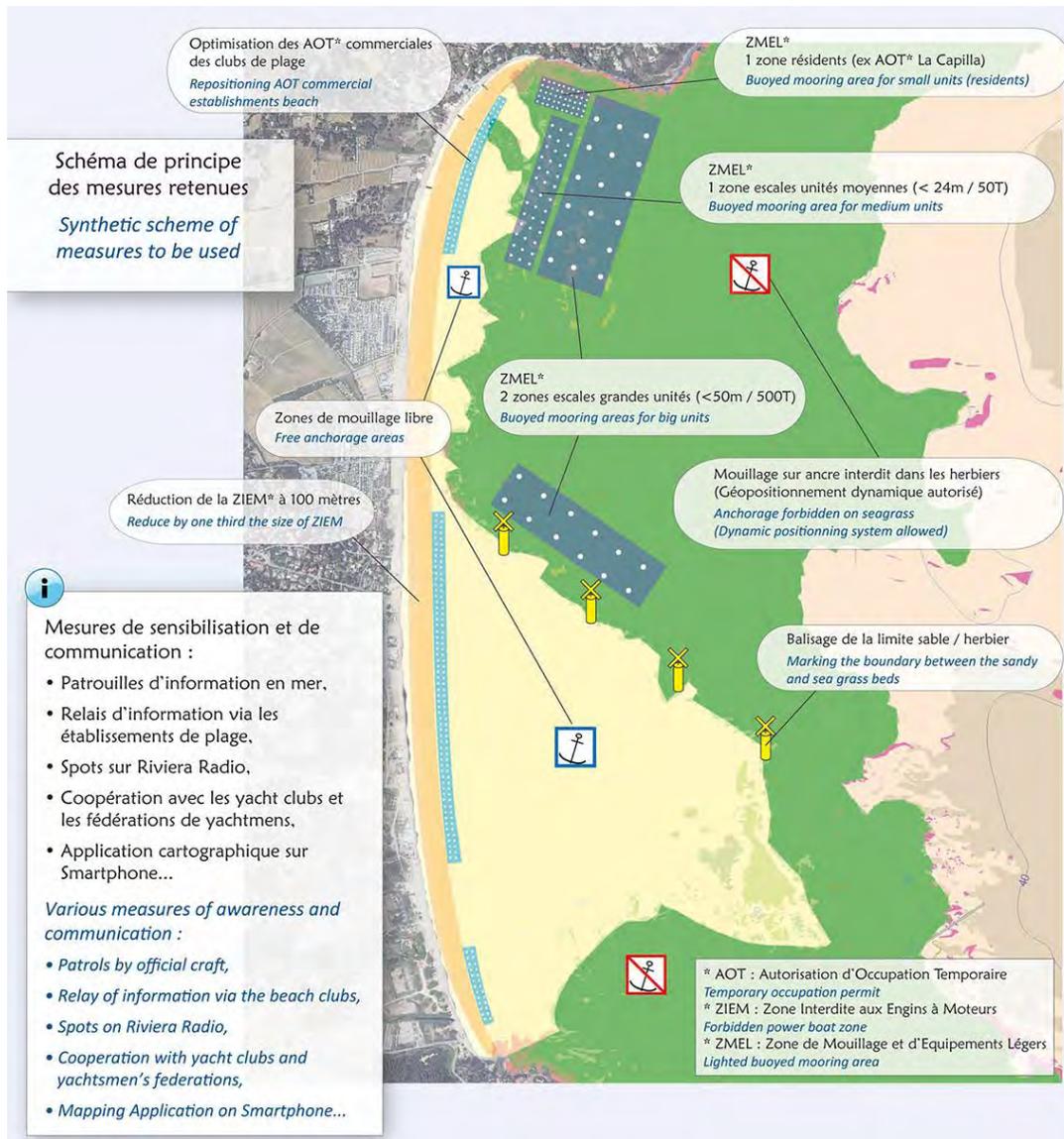


Figura 32.- Ordenación de los fondeos en la Bahía de Pampelone.

Parc National de Port Cros.

El parque nacional Port-Cros (en francés, Parc National de Port-Cros) es un parque nacional francés establecido en la isla mediterránea de homónima, 40 millas al este de Toulon.

Los fondos del parque se caracterizan por la abundante presencia de Posidonia y el área recibe una gran presión de yates, especialmente en verano.

El fondeo en el Parque Natural se regula según Arrete provincial nº 206/2015 que regula la navegación y el fondeo. La norma delimita hasta 9 zonas diferentes según la ubicación y sus usos permitidos (de Zone C a Zone J). El fondeo se permite en algunas de las zonas en función de la eslora del barco. Hay zonas donde está totalmente prohibido fondear, zonas donde solamente pueden hacerlo embarcaciones de menos de 12m de eslora. Las embarcaciones de más de 30m de eslora solamente pueden fondear a 600m de distancia de la costa.

Durante los meses de verano, en algunas zonas solamente se permite el fondeo de los barcos que cumplen con la reglamentación francesa referente al vertido de desechos orgánicos al mar.

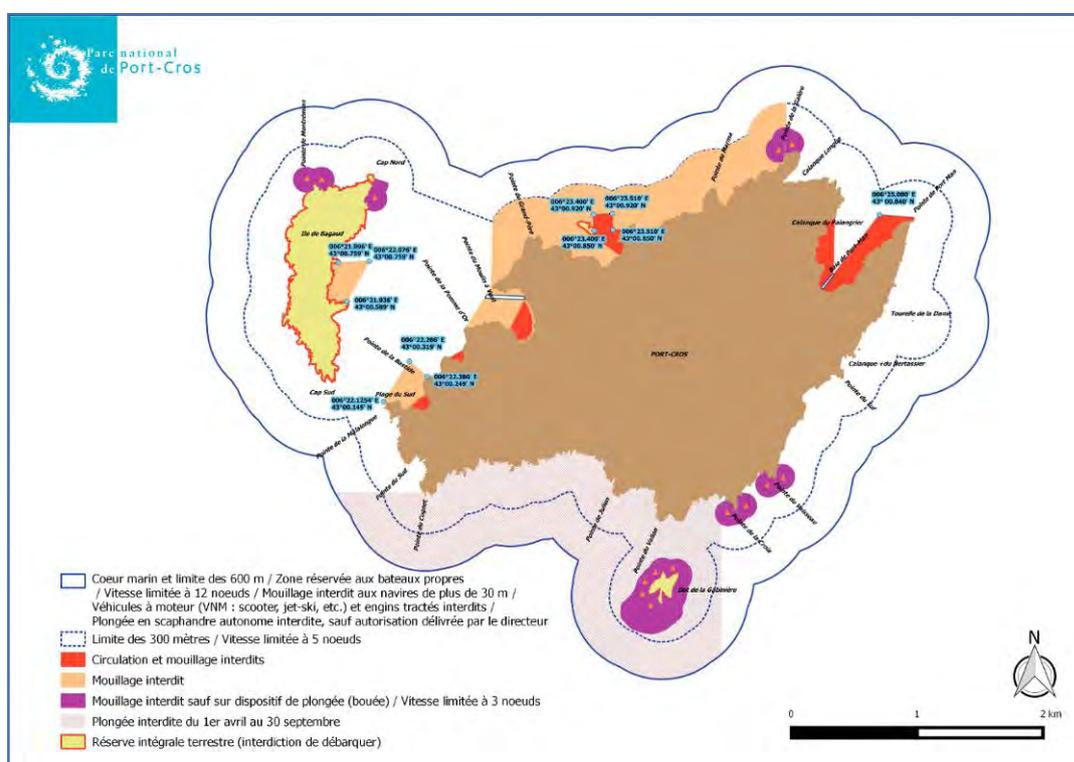


Figura 33.- Regulación del fondeo en Port Cros

5.4.3 Italia

Parque natural de La Maddalena

En el estrecho de Bonifacio (entre Cerdeña y Córcega) se encuentra el Parque Natural del archipiélago de La Maddalena.

El parque está regulado por el *D.P.R. 17 maggio 1996 1 Istituzione dell'ente Parco nazionale dell'Arcipelago de La Maddalena*.

Las praderas de *P.oceanica* son el hábitat más extendido de los fondos submareales del parque, y se estima una superficie total de 5.000 ha., entre 3 y 36 m de profundidad.

La zona es una destinación turística de primer orden y recibe una fuerte presión por parte de cruceristas en verano.

Para regular el fondeo de embarcaciones en las zonas más visitadas (Cala Portese y Porto Madonna) en 2001 se implantaron dos campos de boyas en ambas fondeaderos, con 16 y 12 boyas respectivamente, ancladas con cadenas a muertos de hormigón. La eslora máxima permitida para amarrar a las boyas es de 50m. Para usar la boya es necesario obtener una autorización y abonar una tasa.

Fuera de los campos de boyas el fondeo solamente está permitido en zonas de arena.

Existe un sistema de vigilancia por parte del parque pero los vigilantes no sancionan a las embarcaciones que no respetan las prohibiciones.

12 años después de la implementación de la normativa de fondeo y de los campos de boyas se evaluó su efectividad (resultados publicados por La Manna et al en 2015), y las principales conclusiones fueron.

- La prohibición de anclar sobre pradera no se respeta.
- La Posidonia estaba afectada, tanto en los campos de boyas (con muertos de hormigón) como en las zonas de anclaje teóricamente prohibido. El nivel de impacto era similar en los dos casos.
- Un campo de boyas con muertos de hormigón mal diseñado y/o instalado puede tener un impacto superior al fondeo libre sobre la Posidonia.

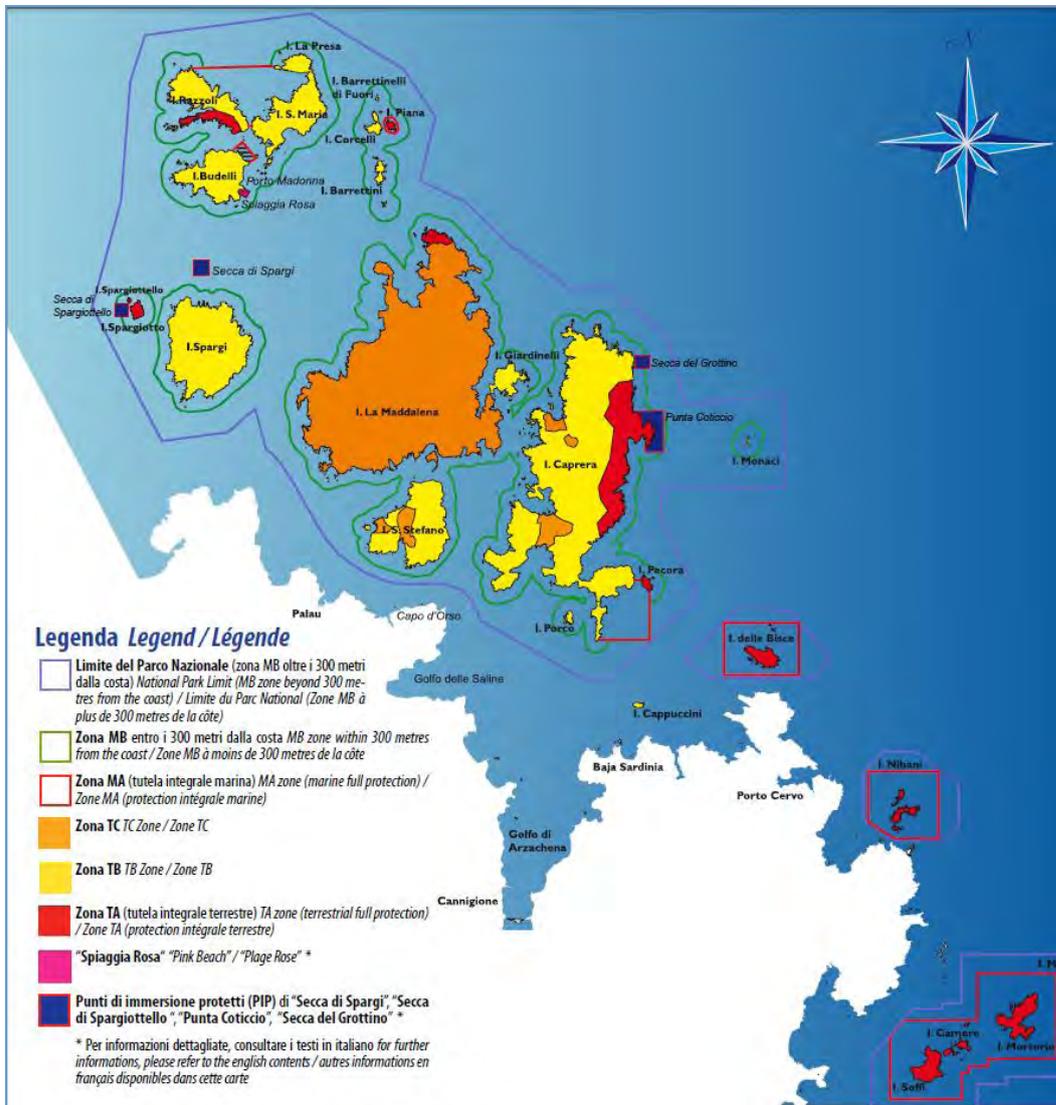


Figura 34.- Mapa de zonación del PN de la Maddalena

5.5 Herramientas útiles

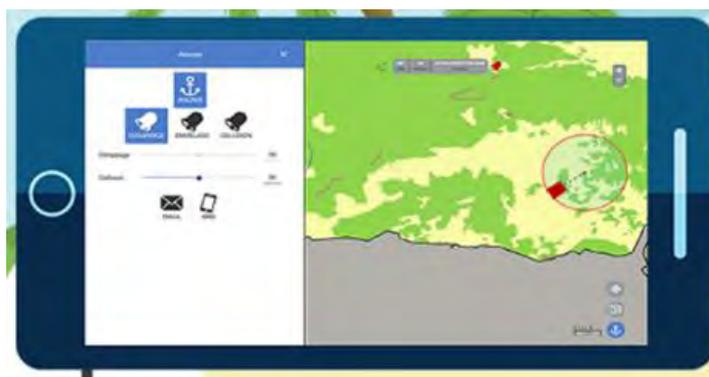
A continuación se presentan dos herramientas informáticas diseñadas para proporcionar a los patrones de yates información sobre las características de las posibles zonas de fondeo.

5.5.1 DONIA

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

La aplicación DONIA, desarrollada por Andromède Océanologie, permite valorar el impacto y la seguridad del fondeo. La aplicación, disponible para smartphones, tablets y ordenadores, se alimenta de ecocartografía de alta precisión de los fondos marinos. Cuando el patrón se dispone a fondear, clicla el icono de fondeo y el símbolo de la embarcación aparece en una escala de colores:

-  Rojo: fondeo de gran impacto y poco seguro. Sobre pradera de Posidonia
-  Naranja: Impacto medio. Sobre algas o rocas
-  Verde: impacto débil y fondeo seguro. Sobre arena
-  Negro: fondo no cartografiado



La empresa desarrolladora fue nominada para los European Business awards for the Environment 2014-2015 de la Comisión Europea.

A fecha de redacción de este informe la aplicación para móviles y tablets estaba disponible en Play Store.

5.5.2 Aplicación de fondeo para las Islas Baleares

La Consejería de Agricultura, Medio Ambiente y Territorio ha lanzado una herramienta para facilitar el fondeo en las embarcaciones sin dañar el fondo marino, especialmente las praderas de posidonia, que fueron clasificadas como "hábitat prioritario" en el anexo I de la Directiva de Hábitats (Dir. núm. 92/43 / CEE) que reúne todos los lugares de importancia comunitaria (LIC) que necesitan ser protegidos.

La aplicación consiste en un mapa/carta interactivo en el que según sus desarrolladores se muestran:

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

- Zonas ocupadas por praderas de Posidonia según la cartografía desarrollada en el programa Life-MAGRAMA
- Espacios naturales protegidos
- Emisarios
- Zonas de fondeo regulado o prohibido.

El patrón puede seleccionar el punto donde desea fondear y la aplicación le indica si el fondeo está permitido (sobre arena), prohibido (sobre Posidonia) o sobre fondo desconocido.

La aplicación se puede encontrar en la siguiente página web:
http://dgrechid.caib.es/www/ajuda_fondeig/visor/ca.html#

A fecha de redacción de este informe la aplicación no se encontraba disponible en Play Store para móviles o tablets.



Figura 35.- Captura de imagen de la aplicación de fondeo de las Islas Baleares.

5.6 Estimación de la superficie potencialmente afectada por el fondeo sobre *P.oceanica* en las Islas Baleares.

5.6.1 Metodología

Para determinar el impacto generado por el fondeo de embarcaciones en el litoral balear, se ha procedido a analizar fotografías aéreas de distintas fuentes (IDEIB, ESTOP, Google Earth, etc) en zonas de presencia de embarcaciones. Esta misma metodología fue utilizada para la proyección de campos de boyas en LICs de Baleares (Proyecto Life Naturaleza 2000/E/7303).

Con la finalidad de optimizar y ajustar a la realidad los efectos de esta actividad, se ha considerado un tramo de costa con un impacto medio en temporada estival. Dicho tramo va desde Cala en Basset (Sant Elm) a Ses Pedreretes (Illes Malgrats), siendo las fotografías analizadas las del vuelo de 26 de agosto de 2015.

Se ha evaluado en cada zona el área óptima para fondeo de embarcaciones, así como la afluencia de las mismas en cuatro enclaves representativos, distribuyéndolas por esloras superiores e inferiores a 12 m, y analizando si el fondeo se ha realizado aparentemente sobre posidonia u otros sustratos. No se han tenido en cuenta las embarcaciones fondeadas en zonas reguladas por la C.A.I.B., puesto que éstas utilizan campos de boyas donde la afección a la pradera es nula.



Figura 36.- Tramo desde Cala en Basset a Cala es Conills

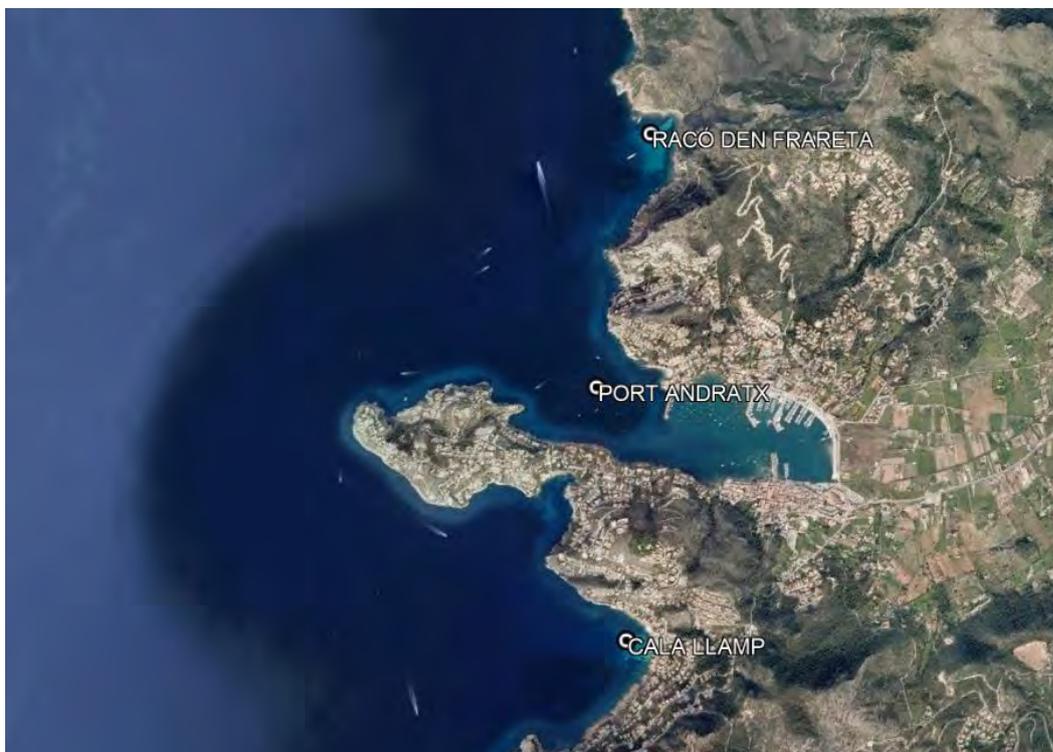


Figura 37.- Tramo desde Racó d'en Frareta a Cala Llamp

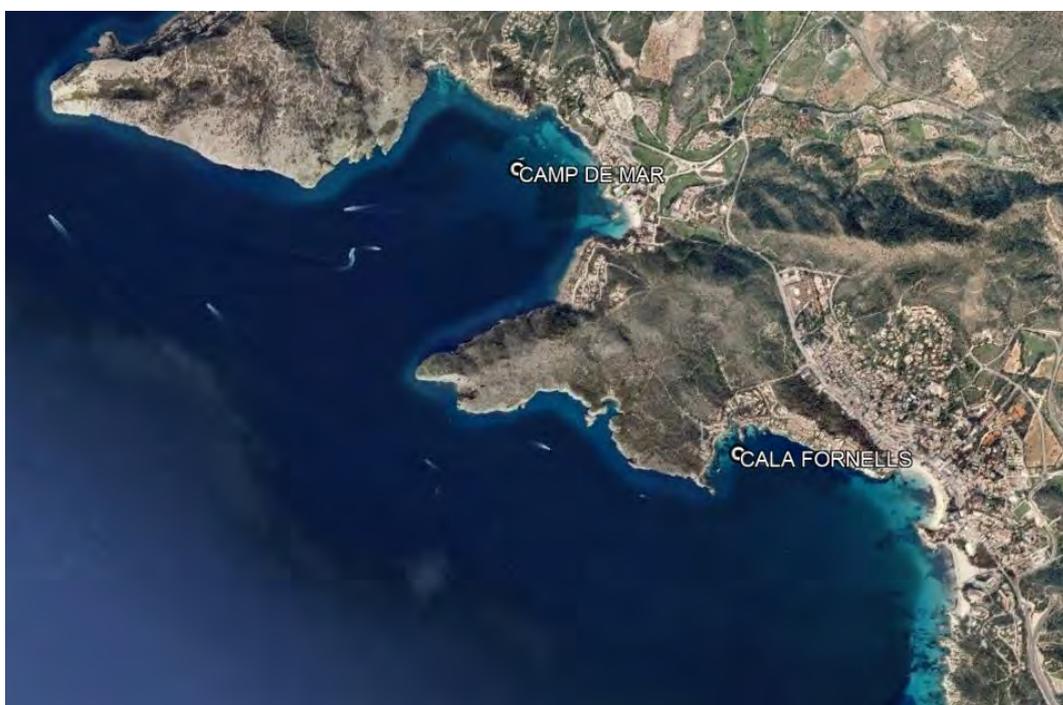


Figura 38.- Tramo desde Camp de Mar a Cala Fornells

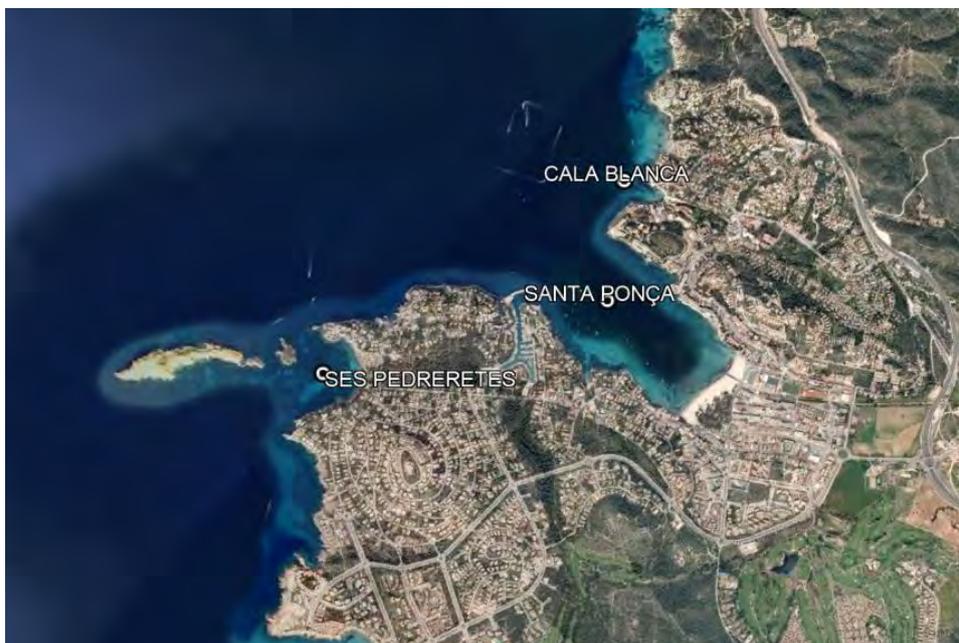


Figura 39.- Tramo desde Cala Blanca a Ses Pedreretes

UBICACIÓN	Zona de fondeo (m ²)
CALA EN BASSET	57.800
S'ALGAR	23.700
ESCAR DEL SEN MARC MARQUET	19.100
CALA ES CONILLS	13.500
RACÓ DEN FRARETA	130.200
PORT D'ANDRATX	250.000
CALA LLAMP	62.200
CAMP DE MAR	816.000
CALA FORNELLS	104.900
CALA BLANCA	144.550
SANTA PONÇA	608.530
SES PEDRERETES	96.450

Tabla 9. Estimación de áreas óptimas de fondeo en las posibles zonas de afección

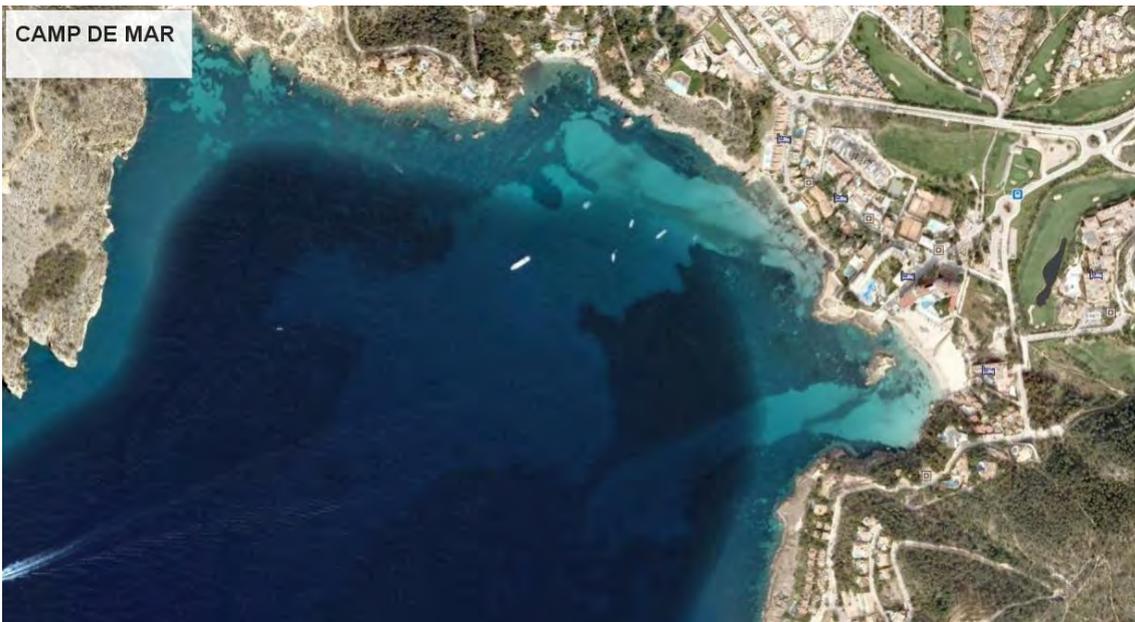
A continuación se detalla una secuencia de imágenes a partir de las cuales se ha evaluado la afluencia diaria de embarcaciones y grado de afección a la pradera de posidonia.

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

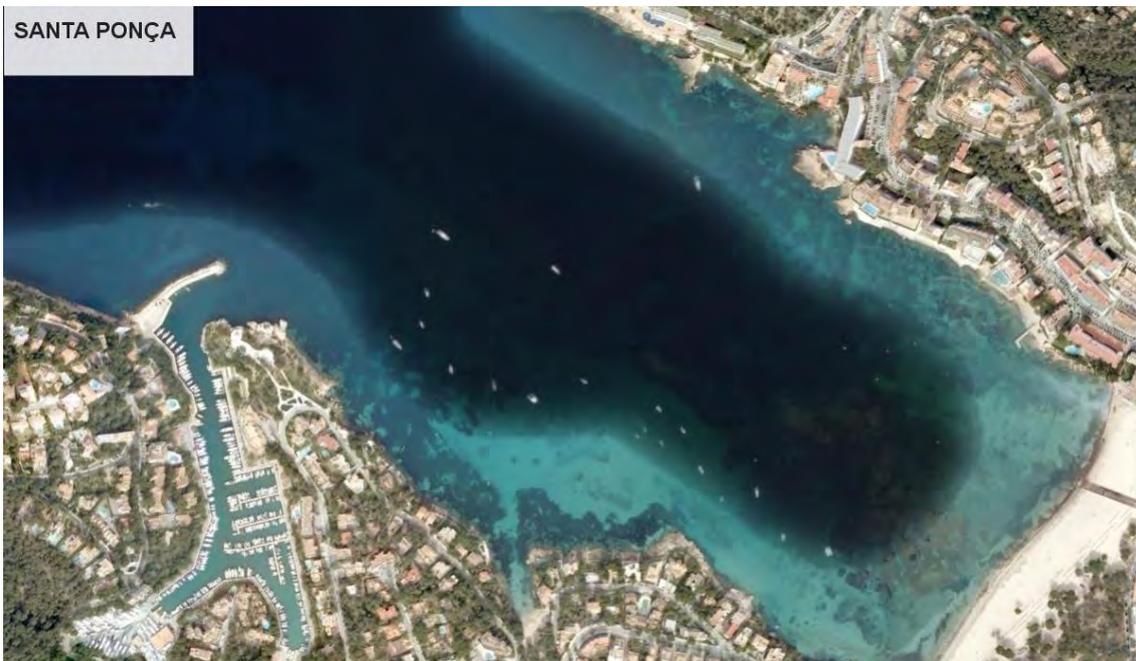
CALA EN BASSET



CAMP DE MAR



SANTA PONÇA



SES PEDRERETS (MALGRATS)



ESTUDIO DE LOS IMPACTOS PROVOCADOS POR LAS DIFERENTES ACTIVIDADES SOBRE LAS PRADERAS DE FANERÓGAMAS MARINAS. EL CASO DEL LITORAL DE LAS ISLAS BALEARES

	ESLORAS < 12 m		ESLORAS > 12 m	
	Sobre Posidonia	Otros	Sobre Posidonia	Otros
CALA EN BASSET	4	3	0	2
CAMP DE MAR	2	1	0	5
SANTA PONÇA	10	16	6	6
SES PEDRERETES	2	8	1	3

Tabla 10. Distribución de embarcaciones día 26/08/2015 (en un intervalo de tiempo indeterminado) en 4 enclaves representativos

En base a los diferentes análisis y cálculos realizados en los 4 enclaves representativos, para todo el tramo de costa estudiado se aprecia lo siguiente:

	ESLORAS < 12 m		ESLORAS > 12 m	
	Sobre Posidonia	Otros	Sobre Posidonia	Otros
TOTAL EMBARCACIONES	26.5	41.3	10.3	23.6

Tabla 11. Distribución de embarcaciones diarias para el tramo de costa estudiado (en un intervalo de tiempo indeterminado)

5.6.2 Conclusiones

En las Islas Baleares estimamos una ocupación del fondo marino por las praderas de *Posidonia oceanica* de unos 930 km² (solamente en las zonas LIC hay 633,13 km²). Así pues, 49 km² aproximadamente corresponden al tramo de costa estudiado.

La afección a la posidonia durante el proceso de fondeo depende de muchos factores, y muy especialmente del tipo de ancla y de la densidad de la pradera (haces/m²). La bibliografía consultada establece variaciones muy significativas dependiendo de la densidad de la zona afectada y del tipo de embarcación o ancla utilizada, aunque se llega a la genérica conclusión de que en cada operación de fondeo, para una embarcación de 9 m de eslora, pueden arrancarse aproximadamente 50 haces (Francour et al., 1999).

Con la finalidad de ajustarnos a una realidad aproximada, establecemos dos escenarios:

5.6.2.1 Escenario1: Hipotético y pesimista

Partimos de las siguientes premisas:

- Establecemos una densidad inicial de 509 haces/m² (ver Bibliografía).

- Como término medio se arrancan 50 haces en cada operación de fondeo. Esto supone una superficie de 0.098 m² de *Posidonia* dado que hemos establecido, según bibliografía, una superficie de 509 haces/ m²
- Se estima que del área total de cobertura de *Posidonia oceanica* en las Illes Balears, aproximadamente 49 km² corresponden al tramo de costa estudiado.
- A través de las fotografías aéreas, para el tramo de costa estudiado y en un intervalo de tiempo indeterminado (foto tomada el 26/08/2015) durante el mes de agosto, se han contabilizado 36.8 embarcaciones aparentemente fondeadas sobre *Posidonia*.
- En base a las consultas realizadas a diferentes empresas del sector, el tramo de costa estudiado es de impacto medio por fondeos durante el mes de agosto, por lo que consideramos que esta cifra expresa de forma fehaciente lo que sería el impacto medio en las Islas Baleares.
- Extrapolando los datos obtenidos del tramo de costa estudiado a la totalidad de las Illes Balears (930 km²), se obtendría un total de 698 fondeos/día para el mes de agosto. Por ello si consideramos la variabilidad de afluencia turística del sector náutico e interpretamos un 90% de ocupación para dicho mes, obtenemos que un 100% serían alrededor de 768 fondeos/día. Esta cifra está maximizada ya que supone que las operaciones de fondeo se distribuyen por todas las zonas donde existe *Posidonia*.
- Así pues, para el mes de agosto, se estima una pérdida de unos 75.2 m²/día de *Posidonia oceanica* en las Islas Baleares.
- En condiciones pésimas, según la simulación establecida (altamente improbable debido a que ni todo el litoral sufre el mismo impacto ni se tiene en cuenta la estacionalidad), se estimaría una pérdida de pradera de *Posidonia oceanica* de 27.448 m² para todo el litoral balear.
- Por consiguiente, maximizando el daño y contemplando de manera teórica el peor de los escenarios posibles, cada año se produce una pérdida de 0.027 km² de *Posidonia oceanica* en las Islas Baleares, lo que representa que el total de la comunidad (930 km² de *Posidonia oceanica*) se ve afectada anualmente un 0.003 % debido exclusivamente al fondeo de las embarcaciones.

5.6.2.2 Escenario 2: Hipotético en base a datos oficiales

En función de la reciente nota de prensa (<http://www.caib.es/pidip2front/jsp/ca/fitxa-noticia/stronghem-informat-6678nbspembarcacions-sobre-la-proteccioacute-de-la-posidograveniastrong-nbsp>) de la C.A.I.B., de 13 de octubre de 2017, el servicio de vigilancia de la posidonia de las Illes Balears, que ha llevado a cabo la empresa SOLRAC+, durante los meses de julio, agosto y septiembre de 2017 en todo el litoral del archipiélago, ha asistido a un total de 6.678 embarcaciones, asesorándolas y dándoles apoyo en las operaciones de fondeo con la finalidad de evitar el impacto sobre las praderas de fanerógamas protegidas.

Extracto de la nota de prensa:

El servicio de vigilancia de la posidonia en las Islas Baleares, que ha llevado a cabo la empresa SOLRAC+, ha durado tres meses, julio, agosto y septiembre de 2017, por todo el archipiélago. Lo formaban diez embarcaciones y diez patrones, aunque el número de estos últimos podía aumentar durante los meses de agosto y septiembre para hacer turnos y rotaciones.

El objeto del operativo ha sido la vigilancia de los hábitats marinos protegidos, especialmente con respecto a las fanerógamas marinas, como la posidonia oceánica. El servicio ha informado sobre la prohibición de los barcos de la zona de fondear sobre la posidonia oceánica y también ha dado apoyo y asesoramiento a barcos en las tareas de fondeo y desfondeo en las zonas arenosas.

El servicio ha sido un gran impulso para la protección de las praderas de la posidonia y para la concienciación de los patrones y los ciudadanos de los daños que hacen las anclas en las praderas. Se han hecho tareas de vigilancia en los ámbitos marinos, se han difundido adhesivos y folletos entre los patrones de las embarcaciones y se ha dado apoyo y asesoramiento para el fondeo y el desfondeo principalmente en embarcaciones con esloras comprendidas entre 15 y 110 m. Además, las salidas también se han coordinado entre la Guardia Civil y los Agentes de Medio Ambiente. También se ha informado sobre otras incidencias relacionadas con la conservación de la naturaleza e incluso se han llevado a cabo inmersiones con los buzos profesionales para determinar zonas de fondeo dudosas.

Según el conseller de Medi Ambient, Agricultura i Pesca, Vicenç Vidal, “este dispositivo quiere evitar el impacto sobre la posidonia y que el año que viene tengamos que hablar de unas cifras inferiores de actuaciones. Han recibido información 6.700 embarcaciones, en algunas de las cuales se los ha ayudado a fondear o se les ha desplazado de un lugar por primera vez en las Islas Baleares”. Además, Vidal ha recordado que fondear sobre posidonia está prohibido, “pero el Decreto de posidonia establecerá los criterios sobre este asunto y las medidas que se tendran que tomar”. Por otra parte, en el momento de máxima tensión por la campaña de incendios, “los Agentes de Medio Ambiente se han embarcado en noventa ocasiones en las mismas embarcaciones de vigilancia para reforzar el servicio”.

Este año, en tres meses se ha ayudado a fondear o a cambiar de fondeo 6.678 embarcaciones en las Islas Baleares: 1.409 en Mallorca, 285 en Menorca y 4.984 en Ibiza y Formentera.

Para complementar la campaña de comunicación sobre la posidonia, se han editado 45.000 folletos, de los cuales 15.000 han sido editados por la Conselleria y los 30.000 restantes han sido reeditados e imprimidos con la financiación de Red Eléctrica de España, que ha hecho una distribución importante en los puertos y clubs náuticos. También se ha hecho difusión en el mar con la ayuda de las embarcaciones del servicio de vigilancia de posidonia. Por otra parte, se han editado adhesivos y se han difundido los valores y beneficios de la posidonia por las redes sociales y los medios de comunicación.

Hay que tener en cuenta que este año se ha implementado el protocolo por medio del cual cualquier ciudadano puede llamar al 112, en la central de incendios forestales del IBANAT, y posteriormente se puede enviar el patrón que vigila la zona, un Agente de Medio Ambiente o del Servicio Marítimo de la Guardia Civil, si están disponibles. En total se han recibido ciento sesenta llamadas.

Este operativo ha sido coordinado entre las administraciones y las autoridades competentes en el mar en dos reuniones de coordinación llevadas a cabo con el Servicio Marítimo de la Guardia Civil, Demarcación de Costas, el Servicio de Agentes de Medio Ambiente, Reservas Marinas, IBANAT, Espacios Naturales, el Consell Insular d'Eivissa y el Consell de Formentera

Partiendo de dichos datos, y sin considerar la variación mensual de afluencia del turismo náutico, presuponemos que si el servicio de vigilancia se hubiera realizado durante todo el año (12 meses), el número de asistencias se habría cuadruplicado. Además, si consideramos un escenario todavía más pesimista e interpretamos que todas las embarcaciones asistidas realizaron fondeo sobre posidonia (dato que no se ajusta a la realidad según se extrae de la nota oficial de prensa), obtenemos un número de total de fondeos en todo el litoral balear de 26.712 fondeos/año.

Así pues, considerando los mismos datos de partida del Escenario 1 (media de 509 haces/m² para la pradera de posidonia, afección de 50 rizomas - 0.098 m² - en cada operación de fondeo y duplicando la pérdida de rizomas debido al efecto negativo del garreo de las anclas y el daño generado por las cadenas de fondeo), se estima que los hipotéticos 26.712 fondeos anuales (53.424 operaciones) habrían ocasionado una pérdida de **0.005248 km²/año**, o lo que es lo mismo, un **0.00056 %** de la superficie total de *Posidonia oceanica* se vería afectada por el fondeo de embarcaciones.

Pese a que **los datos oficiales prevalecen** sobre las estimaciones pesimistas del escenario 1, se ha considerado oportuno establecer estas dos opciones para garantizar una total transparencia en los datos aportados, así como en las hipotéticas proyecciones de afección sobre *Posidonia oceanica*.

Bibliografía

- Estudio de implementación de la Directiva Marco del Agua en las Illes Balears. Evaluación de la calidad ambiental de las masas de aguas costeras utilizando el elemento biológico de calidad: Posidonia oceanica. Govern de les Illes Balears-CSIC-IMEDEA-UIB. 2011
- Short-term response of the slow growing seagrass Posidonia oceanica to simulated anchor impact. G. Ceccherelli et al. / Marine Environmental Research 63 (2007) 341–349
- Boat anchoring on Posidonia oceanica beds in a marine protected area (Italy, western Mediterranean): effect of anchor types in different anchoring stages. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology. 299. 51-62
- BACI design reveals the decline of the seagrass Posidonia oceanica induced by anchoring. Mar Pollut Bull. 2008 Sep;56(9):1637-45. doi: 10.1016/j.marpolbul.2008.05.013. Epub 2008 Jul 7.
- From mechanical to chemical impact of anchoring in seagrasses: The premises of anthropogenic patch generation in Posidonia oceanica meadows. Marine Pollution Bulletin. Volume 109, Issue 1, 15 August 2016, Pages 61-71
- Recreational Boating in Ligurian Marine Protected Areas (Italy): A Quantitative Evaluation for a Sustainable Management. Environmental Management January 2016, Volume 57, Issue 1, pp 163–175.
- Using threat maps for cost-effective prioritization of actions to conserve coastal habitats. Marine Policy. Volume 61, November 2015, Pages 95-102.
- The detrimental consequences for seagrass of ineffective marine park management related to boat anchoring. Marine Pollution Bulletin. Volume 90, Issues 1–2, 15 January 2015, Pages 160-166
- Anchoring damage on Posidonia oceanica meadow cover: A case study in Prelo cove (Ligurian Sea, NW Mediterranean). Chemistry and Ecology. Volume 22, 2006 - Issue sup1

5.7 Ajuste de la afección de los fondeos a un caso particular: Sa Foradada

La Serra de Tramuntana tiene una afluencia de embarcaciones media, aunque debido a la orografía del terreno, la batimetría del fondo y la escasa presencia de fondeaderos de arena, la

zonificación de los mismos se limita a ciertos enclaves muy concretos y de alto impacto durante los meses de junio, julio y agosto. Uno de ellos es Sa Foradada.



Figura 40.- Área óptima de fondeo (395.000 m²)

Esta zona se caracteriza por diferentes e importantes factores que cabe tener en cuenta a la hora de evaluar los impactos por fondeos:

- La zona de fondeo más frecuente abarca de la cota – 5 m a la – 25 m, aunque en general la máxima presión se sitúa entre los 14 m y los 25 m de profundidad.
- La visibilidad del fondo es escasa, por lo que durante la mayor parte del tiempo las embarcaciones fondean a ciegas.
- Actualmente, un 60 % aproximadamente de dicha área (237.000 m²) está cubierta de posidonia de densidad media

- Existen muy pocos claros de arena sobre los que fondear, por lo que un elevado % de las embarcaciones fondean sobre *Posidonia oceánica* y más teniendo en cuenta la profundidad que impide ver con claridad el fondo marino.
- El único impacto antrópico que puede perjudicar directamente a la pradera en esta zona es el fondeo de embarcaciones ya que no existen vertidos de aguas residuales, ni pesca de arrastre ni vertidos de agua hipersalina.

5.7.1 Resultados de la campaña

En fechas 17, 18 y 19 de noviembre de 2017 se realizó una campaña para analizar el estado de conservación de la pradera y evaluar el grado de afección real de la misma debido a los fondeos.

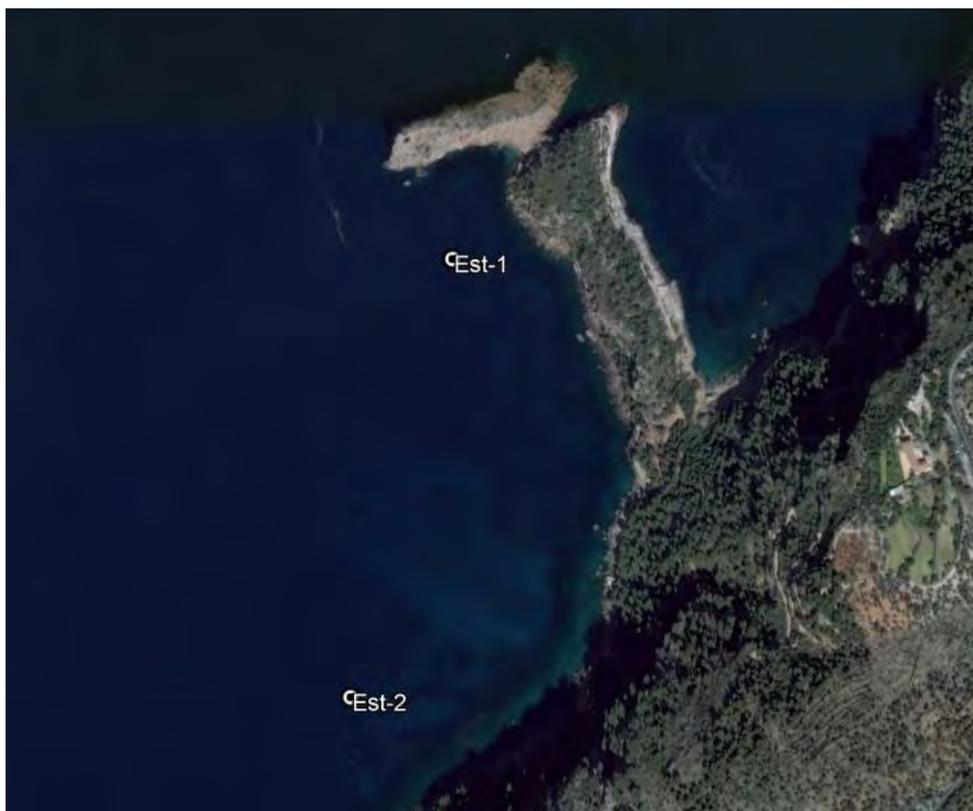


Figura 41.- Estaciones de seguimiento y control de *Posidonia oceanica*

Durante la campaña se han realizado filmaciones de diferentes transectos que abarcan la zona de presión por fondeos, así como inmersiones puntuales y recopilación fotográfica del área prospectada.

Asimismo, se ha determinado el estado actual de la pradera de *Posidonia oceanica* a partir del análisis de diferentes parámetros en 20 muestreos aleatorios entre profundidades de – 5 m y – 22 m y realizados en dos estaciones.

5.7.1.1 Análisis de la situación de partida

Tras el análisis de la zona a través de cartografías diversas y ortofotos, se observa una cobertura continua entre los 3 y 25 m de profundidad. Evidentemente, dicha cobertura está marcada por surcos y claros naturales o por efecto de los fondeos. Asimismo, se observan áreas de rocas intercaladas con claros de arena y matas de posidonia entre los 3 y los 12 m de profundidad.

5.7.1.2 Diseño del muestreo

Para *Posidonia oceanica* se ha realizado un estudio completo en un radio de 50 m en 2 estaciones diferentes.

Gracias a los parámetros obtenidos como resultado de la campaña estudiaremos los hipotéticos cambios de la comunidad a través de muestreos “in situ”.

<i>Posidonia oceanica</i>	
Estación 1	467506/ 4400553
Estación 2	467336/ 4399855

Tabla 12. Situación de las diferentes estaciones



Figura 42.- Aspecto de la pradera durante un muestreo

5.7.1.3 Metodología de muestreo para la determinación de la densidad

La densidad de haces y ápices (microestructura de la comunidad) se ha determinado mediante la utilización de un cuadro de PVC de 250 cm² de superficie, lanzado aleatoriamente sobre la pradera. Tras el conteo del número de haces y ápices, se ha determinado el tipo de sustrato sobre el que crece la pradera.

El sustrato se ha determinado, en porcentajes iguales, en función de si se trata de arena-A o rizomas muertos-M.

Para cada estación de muestreo se han censado las especies representativas de esta comunidad.

5.7.1.4 Resultados

Los muestreos realizados para la pradera de *P. oceanica* abarcan profundidades entre 5 y 22 m.

- Para la zona objetivo se han obtenido los siguientes parámetros en cuanto a la pradera de *P. oceanica*:

Estación 1	nº haces	nº haces/m2	nº ápices	nº ápices/m2	Sustrato	Especies significativas
1	18	288	2	8	M	
2	22	352	2	8	M	<i>P. lividus</i>
3	26	416	1	4	M	<i>P. lividus</i>
4	14	224	1	4	M	
5	21	336	1	4	M	
6	19	304	1	4	M	<i>Holothuria sp.</i>
7	22	352	2	8	M	<i>Holothuria sp.</i>
8	24	384	2	8	M	
9	16	256	1	4	M	
10	19	304	1	4	M	<i>P. lividus</i>

Tabla 13. Datos de densidad, tipo de sustrato y presencia de especies significativas para la estación 1

Estación 2	nº haces	nº haces/m2	nº ápices	nº ápices/m2	Sustrato	especies significativas
1	16	256	1	4	M	
2	19	304	3	12	M	<i>P. lividus</i>
3	21	336	3	12	M	<i>P. lividus</i>
4	10	160	2	8	M	<i>P. lividus</i>
5	18	288	1	4	M	
6	24	384	2	8	M	
7	26	416	1	4	M	<i>P. lividus</i>
8	21	336	2	8	M	<i>P. lividus</i>
9	22	352	1	4	M	
10	17	272	1	4	M	<i>P. lividus</i>

Tabla 14. Datos de densidad, tipo de sustrato y presencia de especies significativas para la estación 2

A continuación se detallan los valores medios obtenidos para los diferentes parámetros evaluados en las estaciones de muestreo:

VALORES MEDIOS - 1/2	
nº haces/m2	nº ápices/m2
316	6.2

Tabla 15. Valores medios de densidad. Estaciones 1–2

En cuanto a los valores sobre el tipo de sustrato sobre el que crece *Posidonia oceanica*, hemos observado un crecimiento sobre rizomas muertos, es decir, sobre la propia pradera, así como sobre sustrato rocoso en la zona próxima a costa.



Figura 43.- Se aprecian claramente marcas de garreo

Para cada área se han determinado las especies significativas de esta comunidad, los datos se presentan a continuación:

% presencia especies representativas - 1/2		
Holothuria sp.	Pinna nobilis	Paracentrotus lividus
10	0	45

Tabla 16. Especies representativas de las estaciones 1-2

Para cada hoja se medirán los siguientes parámetros:

- Longitud total. Es la longitud entre la lígula de la hoja, que se distingue por su color blanco, hasta el ápice de la hoja.
- Anchura. Se mide hacia la mitad de la hoja para que la medida sea lo más representativa posible.
- Número de hojas por haz.
- Estado del ápice. Puede estar entero, roto por el oleaje o comido por algún herbívoro (*Paracentrotus lividus* o *Sarpa salpa*).



Figura 44.- Puede observarse una mata arrancada de unos 60 rizomas

Para evaluar el grado de enterramiento se han realizado mediciones desde el sustrato hasta el inicio o base del rizoma vertical, así como mediciones hasta la primera hoja viva, para todos los haces estudiados. Con ello hemos obtenido valores del grado de enterramiento en %.

- Los resultados obtenidos para los diferentes parámetros evaluados sobre la pradera de *P. oceanica* se exponen a continuación:

Los valores medios, así como los porcentajes de afección morfológica sobre la pradera de *P. oceanica*, se detallan en las siguientes tablas:

VALORES MEDIOS			
nº hojas/haz	longitud (cm)	anchura (cm)	Enterramiento (cm)
4.5	24.42	0.97	2.775

Afección morfológica (%)	
Rotura	19.44
S. salpa	2.77
P. lividus	13.88
Intactas	63.91



Fig Actividad de *Sarpa salpa*



Fig Detalle de rotura

Seguidamente se detalla la tabla general de datos correspondientes a número de haces

ESTACION	nº haz	nº hoja	longitud (cm)	anchura (cm)	Afección morfológica	Enterramiento (cm)
1	1	1	22	1	rotura	2.1
		2	34	1		
		3	15	1		
		4	17	1	rotura	
	2	1	12	1		3.2
		2	26	1		
		3	22	1		
		4	27	0.9		
	3	1	29	1.1		2.2
		2	33	1.1	rotura / P.livius	
		3	15	1		
		4	16	1		
		5	16	1		
	4	1	36	1.1	rotura	2.5
		2	31	1		
		3	22	1		
		4	25	1		
		5	12	0.9		
	5	1	28	0.9	rotura	3.6
		2	11	0.9		
		3	15	0.9	P. lividus	
	6	1	17	0.9		2.7
		2	35	0.9	rotura	
		3	30	0.9		
		4	24	0.9		
		5	22	0.9	P. lividus	
	7	1	32	0.9	P. lividus	3.1
		2	12	0.9	S. salpa	
		3	15	0.9		
		4	10	0.9		
	8	1	33	1.1	P. lividus	2.8
		2	22	1.1	rotura	
		3	51	1.1		
		4	50	1		
		5	34	0.9		
		6	28	0.9		

evaluados, número de hojas, longitud, anchura, afección morfológica y grado de enterramiento.

Tabla 17. Tabla. Datos generales

5.7.2 Grado de ajuste visual

Del reportaje fotográfico y los transectos realizados se desprende claramente que aproximadamente un 50 % de la pradera de posidonia está siendo afectada por los fondeos. Es decir, suponiendo los 395.000 m² totales del área de posible fondeo, 237.000 m² (60%) son de

pradera de posidonia, por lo tanto, se estima que anualmente se ven afectados, con diferentes grados de intensidad, unos 118.500 m².

Aunque no se dispone de una cartografía bionómica de la zona para hacer un análisis comparativo de diferentes años, se han evaluado imágenes aéreas correspondientes a los vuelos de 2002 y 2015 en una zona de 21.415 m² de cobertura de posidonia, entre línea de costa y unos 18 m de profundidad, observando un ligero decremento de la pradera.



Figura 45.- Fotografía aérea 2015. Se aprecia un ligero incremento de las manchas de arena. Fuente: IDEIB

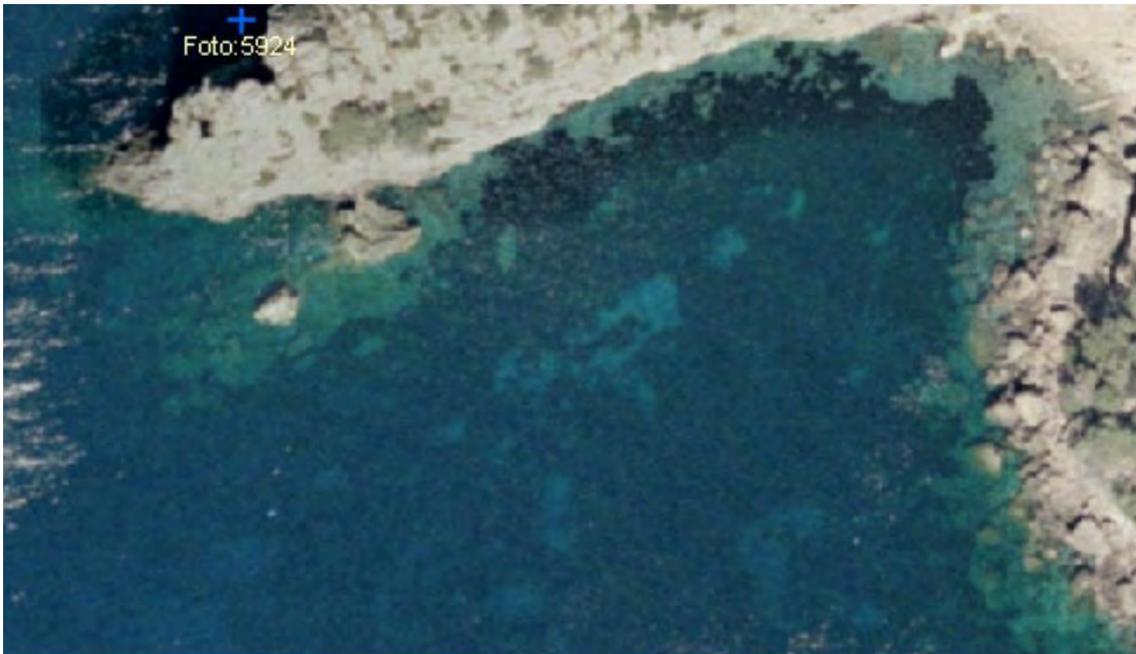


Figura 46.- Fotografía aérea 2002. Fuente: IDEIB

De dichas imágenes y solamente evaluando las manchas de arena claramente visibles como referencia, se cuantifica una reducción mínima de la pradera de unos 330 m² durante el intervalo de tiempo comprendido entre 2002 y 2015. Así pues, extrapolando los datos al total de la zona óptima de fondeo de Sa Foradada, se obtiene una reducción mínima de la pradera de 281 m²/año.



Figura 47.- Límite de mancha de arena a 20.3 m de profundidad

Analizando las fotografías y filmaciones submarinas realizadas en la campaña del mes de noviembre, podemos considerar que el área de afección estimada mediante la interpretación de imágenes aéreas puede fácilmente duplicarse, por lo que estimamos una pérdida de la pradera de $562 \text{ m}^2/\text{año}$. Dicha pérdida obviamente se daría en base a un decremento de la densidad en ciertas zonas.

5.7.3 Grado de ajuste teórico

Tomando como base los cálculos realizados en el apartado correspondiente al fondeo de embarcaciones, y adaptándolo a las condiciones determinadas *in situ*, para el caso de Sa Foradada se estima lo siguiente:

- El área fondeo óptima abarca unos 395.000 m^2
- Actualmente, un 60 % aproximadamente de dicha área está cubierto de posidonia, es decir, 237.000 m^2 .
- La densidad media de Posidonia oceanica en Sa Foradada es de 316 haces/m^2 .

- La media teórica de fondeos estimada es de 18 diarios para el mes de agosto, de los cuales 7 son directamente sobre la fanerógama. Estos datos se obtienen de la extrapolación de los resultados del análisis de fotografías aéreas en el apartado de fondeos.
- Se extrapola esta frecuentación a 5 meses al año (de mayo a septiembre). Un total de 150 días.
- Se toma como criterio medio la erradicación de 50 rizomas por fondeo (0.16 m^2) y se duplica dicha cantidad debido al garreo y daño generado por las cadenas (0.32 m^2).
- Anualmente se estima una pérdida teórica de 336 m^2 de posidonia.

5.7.4 Conclusiones

De la campaña realizada obtenemos importantes datos que confirman que los claros de arena han ido aumentando ligeramente durante los años por efecto de los fondeos. Esto implica que al haber menos cobertura de posidonia, el porcentaje de embarcaciones que fondearán sobre la misma irá disminuyendo con el paso del tiempo, por el simple hecho de que el espacio ocupado por la pradera va decreciendo.

Aunque los datos ofrecidos no dejan de ser nada más que una aproximación a la realidad, entendemos que la similitud de resultados entre el grado de ajuste teórico y grado de ajuste visual, debe tenerse en cuenta como una estimación acertada. Así pues, podemos concluir que para la zona de fondeo de Sa Foradada (395.000 m^2) se produce, como promedio, una pérdida mínima de unos $336 \text{ m}^2/\text{año}$ de posidonia. Es decir, como mínimo, un 0.14 % de dicha pradera desaparece anualmente por el impacto de los fondeos.

El caso de Sa Foradada sería la situación menos óptima dado que no se aprecia con claridad el fondo marino desde la superficie de manera que el fondeo se realizaría de forma mucho más aleatoria. Como se ha podido apreciar en el resto de fotografías aéreas, existe una tendencia muy clara a fondear en zonas de arena cuando el fondo es visible desde la superficie. Ello es debido, por una parte, a aspectos relacionados con la seguridad y, por otra parte y no menos importante, a la sensibilización existente de cara a proteger el medio marino.

5.8 Consideraciones finales

Tal como se ha visto en el apartado 5.1, la posidonia goza de protección legal tanto a nivel internacional, como estatal y autonómico. Cualquier acto que conlleve su destrucción o efectos negativos sobre las praderas (incluido el fondeo) está prohibido.

A pesar de esta prohibición, la supervisión por parte de las administraciones es muy escasa y en muchos casos inexistente, sobre todo fuera de las zonas estrictamente protegidas. El cumplimiento de la prohibición de fondear sobre posidonia queda pues, en manos de los patronos.

A medida que la concienciación del público sobre la importancia y fragilidad de las praderas aumenta, las administraciones implementan más medidas para controlar los fondeos: un claro ejemplo son las Baleares, donde los veranos de 2016 y 2017 se implantó un sistema de control de fondeos mediante embarcaciones. A pesar que realizaron centenares de actuaciones (asistencia al fondeo y reubicar embarcaciones), solamente se sancionaron 20 embarcaciones. El Instituto Balear de la Naturaleza (IBANAT) destinará 970.000 € entre 2018 y 2019 a un operativo compuesto por quince embarcaciones que controlarán el fondeo entre junio y septiembre. Ello supondrá cinco embarcaciones y 185.000 € más, cada año, respecto 2017.

En las Baleares se está desarrollando un Decreto sobre la protección de la posidonia, que delimitará las zonas de fondeo e incluye sanciones concretas en caso de infracción. El decreto va acompañado de una cartografía específica de posidonia que ayudará al patrón a decidir dónde fondear.

6. Comparativa genérica de Impactos

El análisis comparativo en valor absoluto de las distintas actividades generadoras de impacto entraña mucha dificultad debido a la falta, en general, de estudios detallados que engloben todo el litoral estudiado. De todas maneras, las aproximaciones realizadas en los apartados desarrollados anteriormente sí que permiten hacerse una idea del impacto relativo de cada actividad, su severidad y su reversibilidad.

En relación a los fondeos, maximizando el daño y contemplando de manera teórica el peor de los escenarios posibles, cada año se produce una pérdida de aproximadamente unos 27.448 m² de *Posidonia oceanica* en las Islas Baleares, lo que representa que el total de la comunidad

se ve afectada anualmente en un 0.001 % debido exclusivamente al fondeo de las embarcaciones. Si tenemos en cuenta un escenario más realista donde el impacto sería el equivalente a 53.000 fondeos al año sobre Posidonia (26.712 fondeos duplicando el impacto por garreo), tendríamos una pérdida de 5.248 m² anuales, lo que supone un 0.00056 % del total de Posidonia de la Comunidad.

En lo que se refiere al vertido de aguas residuales, el impacto producido se produce durante la fase de construcción y la de explotación. El elevado volumen de agua residual que se vierte en la época estival provoca un incremento de la turbidez y la materia orgánica en la columna de agua. Esto supone un impacto muy negativo sobre las fanerógamas marinas. Aún siendo muy difícil estimar el impacto total producido en las praderas de fanerógamas de las Islas Baleares, solamente el impacto producido en una parte de la Bahía de Palma, se superan los 6 millones de metros cuadrados. Esto supone un 0.64 % de la superficie existente. Teniendo en cuenta que solamente se están evaluando de forma directa una pequeña parte de los vertidos existentes, podemos estimar que el impacto producido es muy superior al provocado por los fondeos.

En cuanto al vertido de agua hipersalina, nos encontramos nuevamente con una falta considerable de estudios detallados. Aun así, el conocimiento del comportamiento del agua hipersalina en el medio marino así como la cuantificación del impacto producido por los vertidos realizados en la línea de costa en más de una ocasión, permiten modelar diferentes escenarios que sin duda ocurren de forma habitual.

En las Islas Baleares existen 6 plantas desalinizadoras que vierten más de 15.000.000 de metros cúbicos al año de agua hipersalina y que en función de su sistema de vertido, puede desplazarse por el fondo, impactando de forma severa sobre los ecosistemas más sensibles. La superficie de fanerógamas marinas afectadas por estos vertidos es difícil de calcular aunque solamente en la zona de Torrent Gros (Desalinizadora de la Bahía de Palma), debido al vertido por rambla, se puede estimar en más de 1.500.000 metros cuadrados lo que supone un 0.15% de la superficie total existente.