

Revista de

Investigación Marina

[23.2]

Mapeo de la sensibilidad
ecológica de los hábitats
bentónicos frente a las
actividades humanas en
el noreste Atlántico

María Alkiza
Ibon Galparsoro
María C. Uyarra
Iñigo Muxika
Ángel Borja



M. Alkiza, I. Galparsoro, M. C. Uyarra, I. Muxika, A. Borja, 2016. Mapeo de la sensibilidad ecológica de los hábitats bentónicos frente a las actividades humanas en el noreste Atlántico. *Revista de Investigación Marina*, AZTI, 23(2): 9-22

La serie '*Revista de Investigación Marina*', editada por la Unidad de Investigación Marina de AZTI, cuenta con el siguiente Comité Editorial:

Editor: Dr. Ángel Borja

Adjunta al Editor: Dña. Mercedes Fernández Monge e Irantzu Zubiaur
(coordinación de las publicaciones)

Comité Editorial: Dr. Lorenzo Motos
Dr. Adolfo Uriarte
Dr. Michael Collins
Dr. Javier Franco
D. Julien Mader
Dña. Marina Santurtun
D. Victoriano Valencia
Dr. Xabier Irigoien
Dra. Arantza Murillas
Dr. Josu Santiago

La '*Revista de Investigación Marina*' de AZTI edita y publica investigaciones y datos originales resultado de la Unidad de Investigación Marina de AZTI. Las propuestas de publicación deben ser enviadas al siguiente correo electrónico aborja@azti.es. Un comité de selección revisará las propuestas y sugerirá los cambios pertinentes antes de su aceptación definitiva.



Edición: 2.^a Junio 2016

© AZTI

ISSN: 1988-818X

Unidad de Investigación Marina

Internet: www.azti.es

Edita: Unidad de Investigación Marina de AZTI

Herrera Kaia, Portualdea

20110 Pasaia

Foto portada: © Alex Iturrate

© AZTI 2016. Distribución gratuita en formato PDF a través de la web: www.azti.es/RIM

Mapeo de la sensibilidad ecológica de los hábitats bentónicos frente a las actividades humanas en el noreste Atlántico

María Alkiza, Ibon Galparsoro*, María C. Uyarra, Iñigo Muxika y Ángel Borja

Resumen

Los hábitats bentónicos proporcionan numerosos servicios al ser humano (e.g. alimento, atractivo turístico, etc.). Sin embargo, las diversas y crecientes presiones ejercidas por las actividades humanas suponen amenazas para ellos. La cartografía y la evaluación de los hábitats bentónicos proporcionan información de gran valor para decidir medidas de gestión que puedan ayudar a mantenerlos en un estado saludable y productivo. Teniendo en cuenta esto, se ha analizado y cartografiado la sensibilidad a las actividades humanas de 62 hábitats bentónicos del Atlántico europeo, y, basándose en ella, la potencial afección a los servicios del ecosistema que proporcionan. Los resultados obtenidos indican que las principales amenazas para los hábitats bentónicos son las actividades pesqueras, en concreto la pesca de arrastre, las construcciones en el litoral y la minería. Estas mismas actividades, junto con los dragados (incluyendo el vertido de sedimentos) y la explotación de hidrocarburos son las que ejercen presión sobre un mayor número de hábitats. Además, la interacción entre las actividades humanas y los hábitats bentónicos indica que la mayoría de los servicios del ecosistema se muestran sensibles ante las actividades estudiadas.

Palabras clave: sensibilidad ecológica, hábitat bentónico, mapeo, actividades humanas, servicios del ecosistema.

Abstract

Benthic habitats provide a wide range of goods and services for human (e.g. food, tourism, etc.). However, the increasing human pressures upon the marine realm threaten marine ecosystems. Mapping and assessment of benthic habitats provide valuable scientific information for management measures, seeking the maintenance of benthic habitats in a healthy and productive state. Herein, the sensitivity of 62 habitats from the European Northeastern Atlantic Ocean have been analyzed and mapped and based on it, the potential affection to the goods and services they provide. Results show that fishing activities, especially by benthic trawls, coastal development and mining are the main threats to European seabed biotopes. Meanwhile, these same activities along with dredging, sediment disposal and hydrocarbon exploration are the ones affecting higher number of habitats. In addition, the interaction between ecosystem services and activities was studied leading to results showing the ecosystem services most affected by human activities.

Keywords: ecological sensitivity, benthic habitat, mapping, human activities, ecosystem services

Introducción

Los océanos y mares proporcionan valiosos servicios ecosistémicos a la población humana, desde la provisión de alimentos a la regulación del clima (Barbier *et al.*, 2011). El concepto de servicios de los ecosistemas se refiere a todas las condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales, y las especies que los conforman, sostienen y

satisfacen el bienestar humano (Daily, 1997). Sin embargo, los ecosistemas marinos pueden verse afectados adversamente según su sensibilidad a consecuencia de los usos y de las actividades humanas (Ban y Alder, 2007; Foley *et al.*, 2010) dando lugar a impactos que, en los casos más extremos, pueden hacer colapsar el ecosistema (Jackson *et al.*, 2001).

En mayor o en menor medida, los ecosistemas marinos son sensibles frente a las diferentes presiones ejercidas por las actividades humanas. Golley (1993), a través de sus estudios, indicó, ya en 1920, que ciertas áreas geográficas eran sensibles a las actividades humanas. La sensibilidad de los hábitats se define como el grado en que ciertos caracteres ambientales responden al estrés causado por la desviación de las condiciones ambientales (Okey *et al.*, 2015). Este concepto ha sido utilizado, por ejemplo, como criterio en la identificación de

AZTI, Marine Research Division, Herrera Kaia, Portualdea z/g, 20110 Pasaia, Gipuzkoa, Spain

* Email: igalparsoro@azti.es

áreas con una especial necesidad de conservación y protección (Zacharias y Gregr, 2005). Es por ello por lo que se considera que los métodos para evaluar la sensibilidad de los hábitats frente a las presiones humanas, aportan información de gran utilidad para el desarrollo de medidas de gestión dirigidas a mantener la sostenibilidad de los usos y recursos (Hiddink *et al.*, 2007).

Teniendo en cuenta que las presiones humanas pueden ejercer un impacto sobre el funcionamiento y el estado de los ecosistemas, éstos, a su vez, pueden repercutir en los servicios del ecosistema que proporcionan (Cimon-Morin *et al.*, 2013). Por ello, existe un creciente interés por la incorporación del conocimiento en la gestión marina a nivel de ecosistemas (Binghman *et al.*, 1995; Costanza *et al.*, 1997; Daily, 1997; Farber *et al.*, 2002; Lique *et al.*, 2013). Sin embargo, como consecuencia de la complejidad de los procesos y funcionamiento de los ecosistemas marinos, el conocimiento científico disponible es limitado. En este contexto, la cartografía y la caracterización de los hábitats pueden contribuir a paliar esta carencia. Los mapas no sólo permiten disponer de información relativa sobre la distribución de los servicios proporcionados por los hábitats (Galparsoro *et al.*, 2014), sino que, además, permiten estudiar las amenazas, y sirven para desarrollar medidas de gestión que garantizarían su futura disponibilidad y contribución al bienestar humano (Egoh *et al.*, 2012).

Algunos de los estudios se centran en la descripción de la sensibilidad de los hábitats frente a actividades humanas (Hiddink *et al.*, 2007; Salomidi *et al.*, 2012). En otros casos, se describen los impactos derivados de las actividades y de las presiones que ejercen (Ramírez-Llodra *et al.*, 2011; Korpinen *et al.*, 2013). A pesar de la relevancia de este tipo de información para la gestión, son pocos los estudios en los que esta información es integrada para generar mapas de la sensibilidad e impacto de las actividades y presiones humanas en los hábitats (Halpern *et al.*, 2008).

Con la intención de contribuir con nueva información, el presente trabajo tiene como objetivo el estudio y evaluación de la sensibilidad de los hábitats bentónicos del noreste Atlántico frente a las principales actividades humanas. Para alcanzar dicho objetivo, se definieron las siguientes tareas específicas:

- elaborar una matriz para determinar el grado de sensibilidad de cada hábitat bentónico del noreste Atlántico frente a las principales actividades humanas,
- representar dicha información a través de sistemas de información geográfica sobre mapas,
- analizar estadísticamente la sensibilidad de los hábitats, y
- analizar el efecto de las presiones humanas sobre los servicios del ecosistema proporcionados por los hábitats bentónicos.

Material y métodos

En este estudio, y según Locatelli *et al.* (2008) se ha considerado que los hábitats se caracterizan por presentar cierto

grado de sensibilidad, de adaptabilidad y de vulnerabilidad. La sensibilidad, en combinación con la exposición a las actividades humanas, daría lugar al impacto ambiental (Figura 1). Por otro lado, la vulnerabilidad de los hábitats a dichos impactos está directamente relacionada a su adaptabilidad. Es importante destacar que el presente estudio se centra únicamente en la sensibilidad de los hábitats bentónicos frente a las diferentes presiones ejercidas por las actividades humanas más importantes en el medio marino y no se ha tratado de establecer el impacto producido.

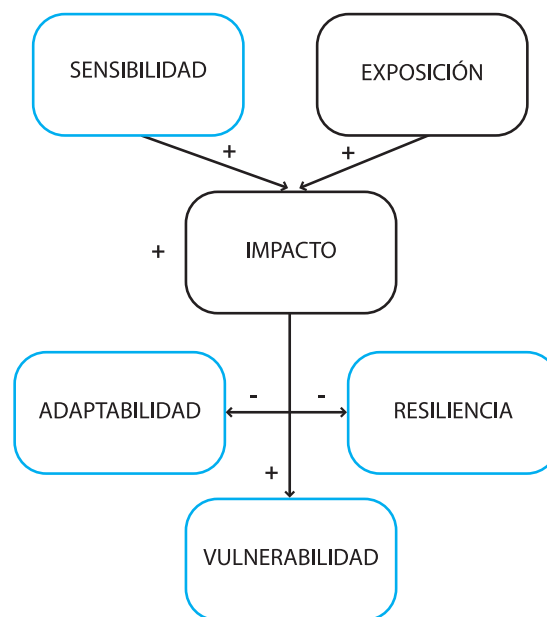


Figura 1. Estructura conceptual de la relación entre las características de los hábitats (i.e. sensibilidad, vulnerabilidad, adaptabilidad y resiliencia, mostradas en azul) y la exposición a las presiones antrópicas y el impacto que éstas pueden ejercer en los hábitats (en gris). Los símbolos “+” y “-” indican la consecuencia del aumento o disminución de las características o efectos antrópicos.

Área geográfica

La presente investigación se ha centrado en el noreste Atlántico. Conforme a la Directiva de la Estrategia Marina Europea (DEME) esta región se divide en cuatro subregiones: el mar del Norte, el mar Céltico, el Golfo de Vizcaya y costas ibéricas, y la Macaronesia. El área se extiende sobre 1,7x10⁶ km² y cubre las Zonas Económicas Exclusivas de 10 países miembros de la Unión Europea y de parte de Noruega (Figura 2). Este área está ocupada por un total de 62 hábitats bentónicos, caracterizados espacialmente por Galparsoro *et al.* (2014).

Fuentes de información relativas a hábitats y sensibilidad

Las fuentes de información más relevantes consultadas en el presente estudio fueron:

- Información relativa a la distribución espacial de los hábitats bentónicos y los servicios del ecosistema: Galparsoro *et al.* (2014).

- Información relativa a la sensibilidad de los hábitats bentónicos frente a las actividades humanas. Las fuentes consultadas fueron:
 - estimación de los bienes y servicios, vulnerabilidad y estado de conservación de los biotopos marinos del trabajo de Salomidi *et al.* (2012),
 - interpretación de la sensibilidad que presentan algunos de los hábitats que aparecen en Áreas Marinas Protegidas (AMPs) del Reino Unido (UK Marine SACs Project (<http://www.ukmarinesac.org.uk/index.htm>)).
 - sensibilidad que presentan las AMPs frente a presiones que puedan ser causadas por las actividades marinas según la herramienta FEAST – Feature Activity Sensitivity Tool (<http://www.marine.scotland.gov.uk/FEAST/>).

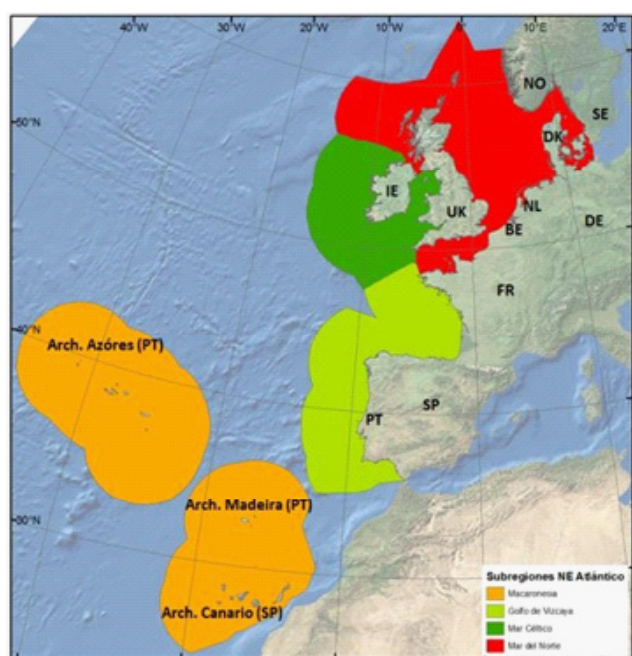


Figura 2. Zona de estudio: noreste Atlántico. Los límites espaciales se han establecido según la Directiva de la Estrategia Marina Europea y a las Zonas Económicas Exclusivas.

Evaluación de la sensibilidad

A partir de los trabajos previos de Salomidi *et al.*, (2012) y MarLIN (Marine Life Information Network) se identificaron nueve grandes grupos de actividades humanas para las cuales los hábitats pueden presentar diferentes grados de sensibilidad. Las actividades identificadas fueron: (i) pesca, (ii) acuicultura, (iii) vertidos de aguas residuales, (iv) dragados (incluyendo el vertido de material de dragado), (v) construcción, (vi) minería y extracción de materias primas, (vii) explotación de gas y petróleo, (viii) transporte marítimo, y (ix) turismo y ocio. Debido a la limitada información relativa a las presiones ejercidas por dichas actividades, no se tuvieron en consideración aspectos específicos de dichas actividades (e.g. diferentes artes de pesca que pueden ejercer diferentes tipos de presión, etc.).

La valoración de la sensibilidad de cada tipo de hábitat frente a las actividades se basó también en una revisión bibliográfica y de bases de datos públicas. El grado de sensibilidad de cada hábitat se obtuvo a partir del trabajo de Salomidi *et al.* (2012) y las categorías y definiciones dadas por MarLIN: (i) cuando las especies clave del biotopo son vulnerables y/o el hábitat tiene probabilidades de ser destruido se consideró como de alta sensibilidad y se le asignó el valor de sensibilidad “alta” (=3); (ii) se asignó el valor de sensibilidad “moderada” (=2) cuando la actividad pudiera producir una disminución o degradación de poblaciones clave para un biotopo a la vez que el hábitat pudiera quedar parcialmente destruido; (iii) se asignó un grado de sensibilidad “baja” (=1) si las especies funcionales de un biotopo no se ven perjudicadas debido a la presión, en este caso las consecuencias no llevan al colapso del hábitat pero sí a una reducción de la biodiversidad; y (iv) “irrelevante/desconocida” (=0) cuando las especies y el hábitat no se considera que puedan ser afectados por las actividades o no existen evidencias al respecto. Finalmente, para aquellos hábitats para los cuales no se encontró información relativa al grado de sensibilidad frente a las actividades humanas, el valor se asignó a juicio de experto.

Elaboración de los mapas

Los mapas relativos a la distribución espacial de la sensibilidad de los hábitats bentónicos se elaboraron mediante la integración de la información de la distribución espacial de los hábitats y su correspondiente sensibilidad definida según lo descrito en el apartado anterior empleando el Sistema de Información Geográfica (ArcGIS® 9).

Servicios del ecosistema

Una vez establecido el grado de sensibilidad de los hábitats frente a las actividades, se analizó su posible repercusión sobre los servicios del ecosistema. Siguiendo la misma clasificación que en Galparsoro *et al.* (2014), también se analizaron 12 servicios del ecosistema: (i) provisión de alimentos, (ii) materias primas, (iii) calidad del aire y regulación climática, (iv) perturbación y prevención de riesgos naturales, (v) fotosíntesis, quimiosíntesis y producción primaria, (vi) cadena trófica, (vii) reproducción y cría, (viii) mantenimiento de la biodiversidad, (ix) calidad del agua y bioremediación, (x) valor cognitivo, (xi) turismo, cultura y ocio y (xii) bienestar social.

Análisis estadístico

Para analizar si diferentes hábitats presentan igual sensibilidad a las distintas actividades humanas se realizó un test Chi-cuadrado. Esta prueba compara cada uno de los valores en la muestra con su media global. A su vez, se realizó un análisis gráfico de medias (ANOM) para determinar qué medias eran significativamente diferentes a la media global. De esta forma, se pudieron determinar las actividades que ejercían un mayor o menor grado de presión sobre los hábitats. Todos los test estadísticos mencionados anteriormente se realizaron con el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion®.

Resultados y discusión

Sensibilidad de los hábitats bentónicos frente a las actividades humanas

El grado de sensibilidad de cada tipo de hábitat bentónico del noreste Atlántico frente a cada una de las principales actividades humanas se muestra en la Tabla 1. La distribución espacial de la sensibilidad total y para cada una de las actividades se presenta en la Figura 3 y el material suplementario I. Trece de los 62 tipos de hábitats bentónicos analizados presentan una sensibilidad alta. En la mayor parte de los casos (8), los hábitats más sensibles corresponden a los hábitats más profundos, cuatro se localizan en zonas infralitorales y uno en la zona circalitoral. Por otro lado, 41 hábitats presentan sensibilidad moderada y su distribución no se limita a una única zona. En general, los hábitats menos sensibles se localizan en la franja circalitoral.

Los resultados muestran que, en términos generales, los hábitats profundos son los que presentan una mayor

sensibilidad frente a la mayoría de las actividades humanas analizadas. El mar profundo es el bioma más grande en la Tierra y alberga una amplia gama de hábitats como laderas y llanuras sedimentarias, zonas rocosas del tipo de las dorsales oceánicas y de las montañas submarinas, y fumarolas hidrotermales e infiltraciones frías. Además, debido a su delicada estructura, estos hábitats se muestran muy susceptibles a las perturbaciones antropogénicas (Ramírez-Llodra *et al.*, 2011; Ardron *et al.*, 2014). Esto es debido a la baja tasa de productividad, crecimiento y colonización que muestran las comunidades asociadas (Smith y Glover, 2003).

Por otro lado, los hábitats infralitorales y circalitorales más sensibles son los de sustratos rocosos. Esto se debe a que las comunidades de roca presentan un crecimiento más lento, hay especies frágiles y son ecosistemas más maduros que los de sustrato blando, por lo tanto, la afección es mayor. Además, las actividades que pueden provocar presiones tales como el aumento de la turbidez y/o de la tasa de sedimentación (e.g. vertidos, dragado, pesca de arrastre, etc.), pueden provocar impactos sobre dichos hábitats (Erftemeijer y Lewis, 2006).

Tabla 1. Matriz de sensibilidad para cada uno de los hábitats bentónicos del noreste Atlántico (3=alto; 2=moderado; 1=bajo y “-”= afección irrelevante/desconocida). Los nombres de los hábitats se han conservado en inglés de acuerdo con el trabajo de Galparsoro *et al.*, (2014).

Hábitat	Código EUNIS	Pesca	Acuicultura	Vertidos	Dragado	Construcciones e infraestructura submarina	Minería	Transporte marítimo	Explotación de gas y petróleo	Turismo y ocio	Mediana total
Infralittoral rock and other hard substrata	A3	3	2	2	2	3	3	2	2	2	2
Atlantic and Mediterranean high energy infralittoral rock	A3.1	2	1	1	2	2	3	2	2	2	2
High energy infralittoral seabed		2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
High energy infralittoral mixed hard sediments		2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Atlantic and Mediterranean moderate energy infralittoral rock	A3.2	3	2	2	2	2	3	2	2	2	2
Moderate energy infralittoral seabed		3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Moderate energy infralittoral mixed hard sediments		3	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Atlantic and Mediterranean low energy infralittoral rock	A3.3	3	3	2	2	3	3	3	2	2	3
Low energy infralittoral seabed		3	3	2	2	3	2	3	2	2	2
Low energy infralittoral mixed hard sediments		3	3	2	2	3	2	3	2	2	2
Silted kelp on low energy infralittoral rock with full salinity	A3.31	3	3	2	2	3	3	3	2	2	3
Circalittoral rock and other hard substrata	A4	1	2	2	1	3	3	2	3	1	2
Atlantic and Mediterranean high energy circalittoral rock	A4.1	1	2	1	1	1	3	2	3	1	1
High energy circalittoral seabed		1	2	1	1	1	2	2	3	1	1
High energy circalittoral mixed hard sediments		1	2	1	1	1	2	2	3	1	1
Very tide-swept faunal communities on circalittoral rock or mixed faunal turf communities on circalittoral rock	A4.11 or A4.13	2	3	3	3	3	3	2	3	1	3
Sponge communities on deep circalittoral rock	A4.12	2	2	1	1	3	3	2	3	-	2
Atlantic and Mediterranean moderate energy circalittoral rock	A4.2	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1
Moderate energy circalittoral seabed		1	2	1	1	2	2	2	1	1	1
Moderate energy circalittoral mixed hard sediments		1	2	1	1	2	2	2	1	1	1

Hábitat	Código EUNIS	Pesca	Acuicultura	Vertidos	Dragado	Construcciones e infraestructura submarina	Minería	Transporte marítimo	Explotación de gas y petróleo	Turismo y ocio	Mediana total
Faunal communities on deep moderate energy circalittoral rock	A4.27	1	2	1	1	2	3	2	1	1	1
Atlantic and Mediterranean low energy circalittoral rock	A4.3	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2
Low energy circalittoral seabed		1	2	2	2	2	2	1	2	1	2
Low energy circalittoral mixed hard sediments		1	2	2	2	2	2	1	2	1	2
Brachiopod and ascidian communities on circalittoral rock	A4.31	1	2	2	2	3	3	1	2	1	2
Faunal communities on deep low energy circalittoral rock	A4.33	1	2	2	2	3	3	1	2	1	2
Infralittoral coarse sediment	A5.13	3	2	3	3	3	2	1	3	1	3
Circalittoral coarse sediment	A5.14	3	2	2	3	3	3	1	2	1	2
Deep circalittoral coarse sediment	A5.15	3	2	2	3	-	2	1	2	-	2
Deep circalittoral Seabed		3	2	2	3	-	2	1	2	-	2
Infralittoral fine sand or infralittoral muddy sand	A5.23 or A5.24	1	2	2	1	3	2	1	2	1	2
Infralittoral fine sand	A5.23	1	2	2	1	3	2	1	2	1	2
Infralittoral muddy sand	A5.24	1	2	3	1	3	2	1	2	3	2
Circalittoral fine sand or circalittoral muddy sand	A5.25 or A5.26	1	2	2	1	3	2	1	2	1	2
Circalittoral fine sand	A5.25	1	2	2	1	3	2	1	2	1	2
Circalittoral muddy sand	A5.26	1	2	2	1	3	2	1	2	1	2
Deep circalittoral sand	A5.27	1	2	2	1	-	1	1	2	-	1
Infralittoral sandy mud or infralittoral fine mud	A5.33 or A5.34	1	2	2	2	3	2	1	3	1	2
Infralittoral sandy mud	A5.33	1	2	3	2	3	2	1	3	1	2
Infralittoral fine mud	A5.34	1	2	3	2	3	2	1	3	1	2
Circalittoral sandy mud or circalittoral fine mud	A5.35 or A5.36	3	2	2	2	3	2	1	2	1	2
Circalittoral sandy mud	A5.35	3	2	2	2	3	2	1	2	1	2
Circalittoral fine mud	A5.36	3	2	2	3	3	2	1	2	1	2
Deep circalittoral mud	A5.37	3	2	2	2	-	2	1	2	-	2
Infralittoral mixed sediments	A5.43	3	2	3	1	3	3	1	3	1	3
Circalittoral mixed sediments	A5.44	2	2	2	1	3	3	1	2	1	2
Deep circalittoral mixed sediments	A5.45	3	2	3	1	-	3	1	2	-	2
Deep circalittoral mixed hard sediments		3	2	3	1	-	3	1	2	-	2
Upper clope seabed		3	-	1	1	3	3	-	1	-	2
Upper slope mixed hard sediments		3	-	1	1	3	3	-	1	-	2
Deep-sea rock and artificial hard substrata	A6.1	3	-	3	3	2	3	-	1	-	3
Deep-sea bedrock	A6.11	3	-	3	3	2	3	-	1	-	3
Deep-sea mixed substrata	A6.2	3	-	1	3	3	3	-	1	-	3
Deep-sea sand or Deep-sea muddy sand	A6.3 or A6.4	3	-	2	3	3	3	-	1	-	3
Deep sea coarse sediment		2	-	1	1	3	3	-	1	-	2
Deep-sea sand	A6.3	3	-	1	1	3	3	-	1	-	2
Deep-sea muddy sand	A6.4	3	-	1	1	3	3	-	1	-	2
Deep-sea mud	A6.5	3	-	1	1	3	3	-	1	-	2
Abyssal seabed		3	-	1	1	-	3	-	3	-	3
Upper bathyal Seabed		3	-	1	1	-	3	-	3	-	3
Mid bathyal Seabed		3	-	1	1	-	3	-	3	-	3
Lower bathyal Seabed		3	-	1	1	-	3	-	3	-	3

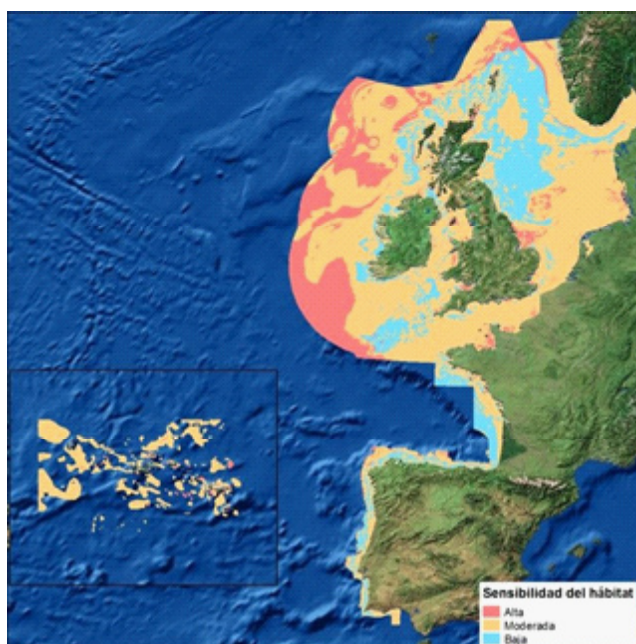


Figura 3. Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos del NE Atlántico respecto a las principales actividades humanas, a la izquierda se sitúan las islas Azores.

Las actividades para las cuales los hábitats presentan una mayor sensibilidad fueron la pesca, los vertidos de aguas residuales, los dragados, la minería y la explotación de gas y petróleo (Figura 4a). Además se observaron diferencias significativas en la sensibilidad que muestran los hábitats a las distintas actividades (Chi cuadrado $\chi^2_8 = 93,17$; $p < 0,001$). La acuicultura, el transporte marítimo y el turismo son las actividades a las que un menor número de hábitats presentan sensibilidad (análisis de medias (ANOM), nivel de confianza del 99%).

Además, se observaron diferencias significativas para los hábitats que presentan máximos valores de sensibilidad frente a las actividades (Chi cuadrado $\chi^2_8 = 116,26$; $p < 0,001$). Las actividades pesqueras, la construcción y la minería son las actividades que potencialmente ejercen mayor presión sobre los hábitats (figura 4b). Se observa, a su vez, que los hábitats no presentan sensibilidades máximas para los dragados y vertidos de aguas residuales, pero que, sin embargo, junto con la minería, se consideran como actividades que ejercen presión sobre un mayor número de hábitats (análisis de medias (ANOM) con un nivel de confianza del 99%).

Por lo tanto, la pesca, la minería, los dragados, los vertidos de aguas residuales, la construcción y la explotación de gas y petróleo son las actividades que de una forma u otra tienen mayor efecto sobre los hábitats. Los procedimientos empleados en estas actividades dan lugar a un impacto severo en los hábitats marinos y la biota marina debido a los efectos de abrasión y destrucción del hábitat (Pearce, 1994). En el caso de la explotación de gas y petróleo, además, la acumulación de los lodos de perforación y el derrame accidental de petróleo

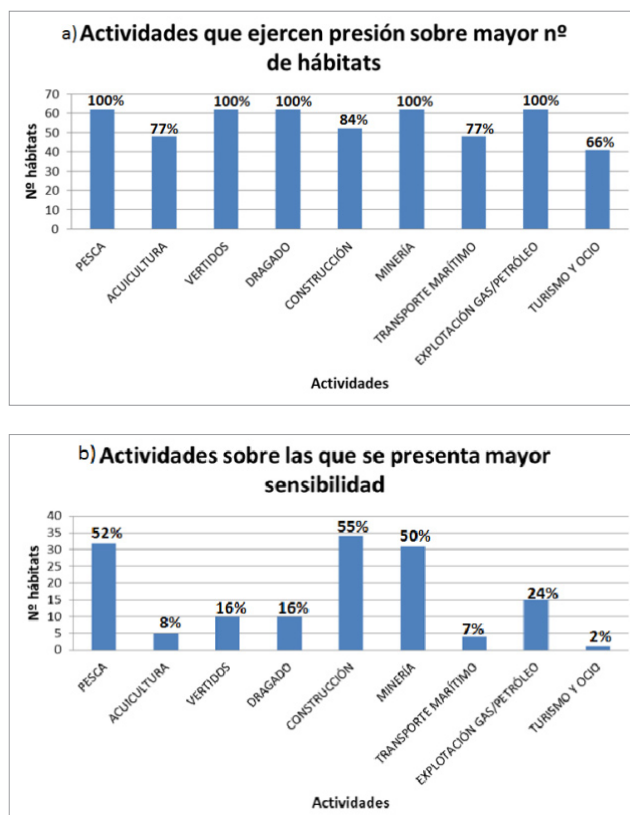


Figura 4. a) Número de hábitats sensibles frente a las actividades humanas y b) número de hábitats con máxima sensibilidad frente a las actividades humanas.

afectan en consecuencia a los hábitats circundantes (Hood, 2004; Ramírez-Llodra *et al.*, 2011; Montagna *et al.*, 2013).

Por otra parte, según los resultados, los impactos producidos no son uniformes y los hábitats se ven afectados tanto por el tipo de actividad, por la distribución espacial y temporal de la actividad, así como por el tipo de hábitat, y, por tanto, por sus características específicas y sensibilidad, aspectos que no se han tenido en cuenta en el presente estudio. Los hábitats estructuralmente complejos (por ejemplo, sustratos rocosos con fauna asociada, o zonas de algas) y aquellos que presentan un bajo grado de perturbaciones naturales (como es el caso de las zonas de baja energía o zonas en aguas profundas) son los que presentan mayor sensibilidad (Kaiser *et al.*, 2001; Galparsoro *et al.*, 2013; Van Denderen *et al.*, 2014).

Servicios del ecosistema

La agrupación de la sensibilidad de los hábitats en función de los principales servicios proporcionados (Galparsoro *et al.*, 2014) (Material suplementario II), indica que todos los servicios muestran una sensibilidad moderada frente a las actividades estudiadas. Los servicios que mayor número de valores máximos de sensibilidad presentan frente a las actividades son la “provisión de alimentos”, las “materias primas”, la “perturbación y prevención de riesgos naturales”, la “fotosíntesis, quimiosíntesis y producción primaria”, la

“reproducción y cría”, el “mantenimiento de la biodiversidad” y el “valor cognitivo”. Por otra parte, de forma análoga a la sensibilidad de los hábitats, las actividades que pueden ejercer una mayor presión sobre los servicios del ecosistema son la pesca, la construcción, la minería y la explotación de gas y petróleo, que son aquellas actividades que afectan de manera directa el fondo marino.

En aquellas áreas en las que se ejerce una actividad pesquera severa se produce una serie de perturbaciones, poniendo incluso en peligro los propios servicios del ecosistema (Muntadas *et al.*, 2015). Además de presiones como la abrasión del fondo marino o la alteración física provocada por las artes de pesca de fondo, la propia extracción de especies marinas puede provocar cambios en la composición de comunidades, relación depredador-presa, biodiversidad, etc. (Muntadas *et al.*, 2015). Por otra parte, estas actividades pesqueras dan lugar a perturbaciones del fondo marino debido al movimiento de sedimentos, teniendo como consecuencia la alteración de los hábitats para distintas especies marinas. Como resultado, se da lugar a la modificación de la morfología del suelo marino junto con la reducción de la complejidad (Kaiser *et al.*, 2001) y la biodiversidad de los hábitat afectados (Puig *et al.*, 2012). Por lo tanto, además del efecto directo que ejerce la pesca sobre la biomasa y, en consecuencia la provisión de alimento como servicio ecosistémico, de forma indirecta puede afectar a otros servicios, como es el caso de las zonas de cría, la biodiversidad y otra serie de valores culturales (e.g. zonas de coral).

La construcción, la minería y la explotación de gas y petróleo emplean distintas técnicas que dan lugar a impactos comunes debido al tipo de perturbación que ejercen sobre el hábitat. Un gran número de especies habitan zonas de arena y grava, zonas de gran interés para estas actividades, utilizándolas como áreas de alimentación, reproducción y cría. Estas comunidades suelen tener su dieta ligada a la composición del bentos y, por tanto, la modificación del mismo puede dar lugar a la eliminación de su alimento (Austen *et al.*, 2009). Por otro lado, el aumento de la turbidez puede repercutir negativamente en la abundancia de la población de fitoplancton y macroalgas debido a la disminución de la luz recibida (Austen *et al.*, 2009). Esto, a su vez, afectaría por un lado, a los organismos que dependen de las algas para su alimentación y protección, y por otro lado, a la actividad fotosintética, cuya reducción resultaría en un aporte menor de oxígeno al ambiente. Además, esta menor producción de oxígeno conllevaría problemas respiratorios en ciertas especies. En definitiva, el resultado de estas actividades puede provocar la alteración de la biodiversidad y, por tanto, la modificación del hábitat que, además, puede facilitar la llegada y colonización de especies oportunistas e invasoras (Austen *et al.*, 2009). Además, a parte de la fotosíntesis, los procesos de fotólisis que toman parte en la descomposición de contaminantes también se verían afectados y, por tanto, su tasa de degradación disminuiría (Dunlop *et al.*, 2005).

Conclusiones

De acuerdo a los resultados obtenidos se concluye que:

- Los resultados obtenidos en este trabajo de investigación representan un primer paso en el conocimiento más exhaustivo de la afección de las actividades humanas en el medio marino y, por tanto, una interesante fuente de información de base científica orientada al desarrollo de medidas de gestión de dichas actividades humanas y a la Planificación Espacial Marítima.
- Los hábitats bentónicos son sensibles a un amplio número de actividades humanas: presentan máxima sensibilidad frente a las actividades pesqueras, la minería, la construcción y la explotación de gas y petróleo. A su vez, los hábitats que presentan mayor sensibilidad corresponden a los hábitats más profundos y zonas infralitorales y circalitorales de moderada y baja energía.
- Aquellas actividades que tienen una acción directa sobre el fondo marino son las que ejercen impacto sobre un mayor número de hábitats.
- Todos los servicios del ecosistema se ven afectados en mayor o menor medida por las presiones derivadas de las actividades humanas.

El presente trabajo se ha centrado en la elaboración de mapas de sensibilidad de los hábitats bentónicos frente a las actividades humanas. Sin embargo, para conocer específicamente el impacto que las actividades humanas pueden ejercer sobre dichos hábitats y, en consecuencia, sobre los servicios del ecosistema, sería necesaria la información relativa a la distribución espacial y temporal de dichas actividades. En este sentido, con la integración de la información de las sensibilidades de los hábitats y la distribución de las presiones, se podrían elaborar matrices y mapas de los principales impactos de las actividades sobre los hábitats bentónicos.

Agradecimientos

El presente trabajo se desarrolló en la Unidad de Investigación Marina de AZTI como parte del Título Propio de “Especialista en Medio Ambiente y Sostenibilidad” impartido en la Universidad del País Vasco. El trabajo se ha realizado en parte en el proyecto DEVOTES (DEvelopment Of innovative Tools for understanding marine biodiversity and assessing good Environmental Status), financiado por la Unión Europea, en el 7º Programa Marco, bajo el tema ‘The Ocean of Tomorrow’ Theme (grant agreement no. 308392), www.devotes-project.eu. María C. Uyarra ha sido parcialmente financiada por el programa español de Talento y Empleabilidad de R+D+I “Torres Quevedo”. Los comentarios de Joxe Mikel Garmendia, como revisor, nos han ayudado a mejorar considerablemente la primera versión de este manuscrito. Esta es la contribución número 769 de la Unidad de Investigación Marina (AZTI).

Bibliografía

- Ardrón, J.A., M.R. Clark, A.J. Penney, T.F. Hourigan, A.A. Rowden, P.K. Dunstan, L. Watling, T.M. Shank, D.M. Tracey, M.R. Dunn, S.J. Parker, 2014. A systematic approach towards the identification and protection of vulnerable marine ecosystems. *Marine Policy*, 49: 146-154.
- Austen, M.C., C. Hattam, S. Lowe, S.C. Mangi, K. Richardson. 2009. Quantifying and valuing the impacts of marine aggregate extraction on ecosystem goods and services. *Marine Aggregate Sustainability Fund*. 62 pp.
- Ban, N., C.J. Alder. 2007. How wild is the ocean? Assessing the intensity of anthropogenic marine activities in British Columbia, Canada. *Aquatic Conservation*, 18(1): 55-85.
- Barbier, E.B., S.D. Hacker, C. Kennedy, E.W. Koch, A.C. Stier, B.R. Silliman, 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81: 169-193.
- Bingham, G., R. Bishop, M. Brody, D. Bromley, E.T. Clark, W. Cooper, A.R. Costanza, R. Hale, G. Hayden, S. Kellert, R. Norgaard, J. Payne, G. Suter. 1995. Issues in ecosystem valuation: improving information for decision making. *Ecological Economics*, 14(2): 73-90.
- Cimon-Morin, J., M. Darveau, M. Pulin. 2013. Fostering synergies between ecosystem services and biodiversity in conservation planning: a review. *Biological Conservation*, 166: 144-154.
- Costanza, R., R. d'Arge, R. de Groot, S. Farber, M. Grasso, B. Hannon, K. Limburg, S. Naeem, R.V. O'Neill, J. Paruelo, R.G. Raskin, P. Sutton, M., van den Belt. 1997. The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387: 253-260.
- Daily, G.C. 1997. Nature's services: Societal Dependence on Natural Ecosystems. *Island Press*. Washington, DC. 392 pp.
- Dunlop, J., G. McGregor, N. Horrigan. 2005. Potential impacts of salinity and turbidity in riverine ecosystems. *The National Action Plan for Salinity and Water Quality (NAPSWQ)*, Queensland. 64 pp.
- Egoh, B., E.G. Drakou, M.B. Dunbar, J. Maes, L. Willemen. 2012. *Indicators for Mapping Ecosystem Services: a Review JRC Scientific and Policy Reports*. Luxembourg. European Commission. 107 pp.
- Ertfemeijer, P.L., R.R. Lewis. 2006. Environmental impacts of dredging on seagrasses: a review. 2006. *Marine Pollution Bulletin*, 52(12): 1553-1572.
- Farber, S.C., R. Costanza, M.A. Wilson. 2002. Economic and ecological concepts for valuing ecosystem services. *Ecological Economics*, 41(3): 375-392.
- Foley, M.M., B.S. Halpern, F. Micheli, M.H. Armsby, M.R. Caldwell, C.M. Crain, E. Prhaler, N. Rohr, D. Sivas, M.W. Beck, M.H. Carr, L.B. Crowder, J.E. Duffy, S.D. Hacker, K.L. McLeod, S.R. Palumbi, C.H. Peterson, H.M. Regan, M.H. Ruckelshaus, P.A. Sandifer, R.S. Steneck. 2010. Guiding ecological principles for marine spatial planning. *Marine Policy*, 34(5): 955-966.
- Galparsoro, I., A., Borja, V.E. Kostylev, J.G. Rodríguez, M. Pascual, I. Muxika. 2013. A process-driven sedimentary habitat modelling approach, explaining seafloor integrity and biodiversity assessment within the European Marine Strategy Framework Directive. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 131: 194-205.
- Galparsoro, I., A. Borja, M.C. Uyarra. 2014. Mapping ecosystem services provided by benthic habitats in the European North Atlantic Ocean. *Frontiers in Marine Science*, 1: 1-14.
- Golley, F.B. 1993. *A history of the ecosystem concept in ecology: more than the sum of the parts*. Yale University Press. New Haven, Connecticut. 254 pp.
- Halpern, B.S., S. Walbridge, K.A. Selkoe, C.V. Kappel, F. Micheli, C.D. Grossa, J.F. Bruno, K.S. Casey, C. Ebert, H.E. Fox, R. Fujita, D. Heinemann, H.S. Lenihan, E.M.P. Madin, M.T. Perry, E.R. Selig, M. Spalding, R. Steneck, R. Watson. 2008. A global map of human impact on marine ecosystems. *Science*, 319(5865): 948-952.
- Hiddink, J.G., S. Jennings, M.J. Kaiser. 2007. Assessing and predicting the relative ecological impacts of disturbance on habitats with different sensitivities. *Journal of Applied Ecology*, 44: 405-413.
- Hood, W.G. 2004. Indirect Environmental Effects of Dikes on Estuarine Tidal Channels: Thinking Outside of the Dike for Habitat Restoration and Monitoring. *Estuaries*, 27(2): 273-282.
- Jackson, J.B.C., M.X. Kirby, W.H. Berger, K.A. Bjorndal, L.W. Botsford, B.J. Bourque, R.H. Bradbury, R. Cooke, J. Erlandson, J.A. Estes, T.P. Hughes, S. Kidwell, C.B. Lange, H.S. Lenihan, J.M. Pandolfi, C.H. Peterson, R.S. Steneck, M.J. Tegner, R.R. Warner. 2001. Historical overfishing and the recent collapse of coastal ecosystems. *Science*, 293(5530): 629-637.
- Kaiser, M.J., S.J. Collie, S. Hall, S. Jennings, I.R. Poiner. 2001. Impacts of fishing gear on marine benthic habitats. *Reykjavik Conference on Responsible Fisheries in the Marine Ecosystem*. Reykjavik, Iceland. 19 pp.
- Korpinen, S., M. Meidinger, M. Laamanen. 2013. Cumulative impacts on seabed habitats: An indicator for assessments of good environmental status. *Marine Pollution Bulletin*, 74(1): 311-319.
- Liquete, C., C. Piroddi, E.G. Drakou, L. Gurney, S. Katsanevakis, A. Charef, B. Egoh. 2013. Current status and future prospects for the assessment of marine and coastal ecosystem services: a systematic review. *PLoS One*, 8(7): e67737.
- Locatelli, B., H. Herawati, M. Brockhaus, M. Idinoba, M. Kanninen. 2008. Methods and Tools for Assessing the Vulnerability of Forests and People to Climate Change. *CIFOR*, Working Paper No 43, Indonesia. 28 pp.
- MarLIN. 2016. MarLIN - The Marine Life Information Network - [online] Available at: <http://www.marlin.ac.uk/> [Accessed 13 May 2015].
- Montagna, P.A., J.G. Baguley, C. Cooksey, I. Hartwell, L.J. Hyde, J.L. Hyland, R.D. Kalke, L.M. Kracker, M. Reuscher, A.C.E. Rhodes. 2013. Deep-sea benthic footprint of the deepwater horizon blowout. *PLoS One*, 8: e70540.
- Muntadas, A., S. de Juan, M. Demestre. 2015. Integrating the provision of ecosystem services and trawl fisheries for the management of the marine environment. *Science of The Total Environment*, 506-507: 594-603.
- Okey, T.A., S. Agbayani, H.M. Alidina. 2015. Mapping ecological vulnerability to recent climate change in Canada's Pacific marine ecosystems. *Ocean & Coastal Management*, 106: 35-48.
- Pearce J.B. 1994. Mining of seabed aggregates. In: Langton R.W, J.B. Pearce, J.A. Gibson (eds.). Selected living resources, habitat conditions, and human perturbations of the Gulf of Maine: environmental and ecological considerations for fishery management. *Woods Hole (MA): NOAA Technical Memorandum*. NMFS-NE-106: 48-50.
- Puig, M., Canals, M., Company, J. B., Martin, J., Amblas, D., Lastras, G., Palanques, A., Calafat, A.M. 2012. Ploughing the deep sea floor. *Nature*, 489: 286-289.
- Ramírez-Llodra, E., P.A. Tyler, M.C. Baker, O. Bergstad, M.R. Clark, E. Escobar, L.A. Levin, L. Menot, A.A. Rowden, C.R. Smith, C.L. van Dover. 2011. Man and the Last Great Wilderness: Human Impact on the Deep Sea. *PLoS One*, 6(7): e22588.
- Salomidi, M., S. Katsanevakis, A. Borja, U. Braeckman, D. Damalas, I. Galparsoro, R. Mifsud, S. Mirto, M. Pascual, M. Pipitone, V. Rabaut, V. Todorova, V. Vassilopoulou, T. Vega Fernández. 2012. Assessment of goods and services, vulnerability, and conservation status of European seabed biotopes: a stepping Stone towards ecosystem-based marine spatial management. *Mediterranean Marine Science*, 13(1): 49-88.
- Smith, C.R., A.G. Glover. 2003. The deep seafloor ecosystem: current status and prospects for change by the year 2025. *Environmental Conservation*, 30(3): 219-241.
- Van Denderen, P. D., N.T. Hintzen, N. T. Rijnsdorp, P. Ruardij, T. van Kooten. 2014. Habitat-specific effects of fishing disturbance on benthic species richness in marine soft sediments. *Ecosystems*, 17(7): 1216-1226.
- Zacharias, M.A., E.J. Gregr. 2005. Sensitivity and vulnerability in marine environments: an approach to identifying vulnerable marine areas. *Conservation Biology*, 19(1): 86-97.

Anexo I

Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos del NE Atlántico respecto a las principales actividades humanas situando a la izquierda las islas Azores.

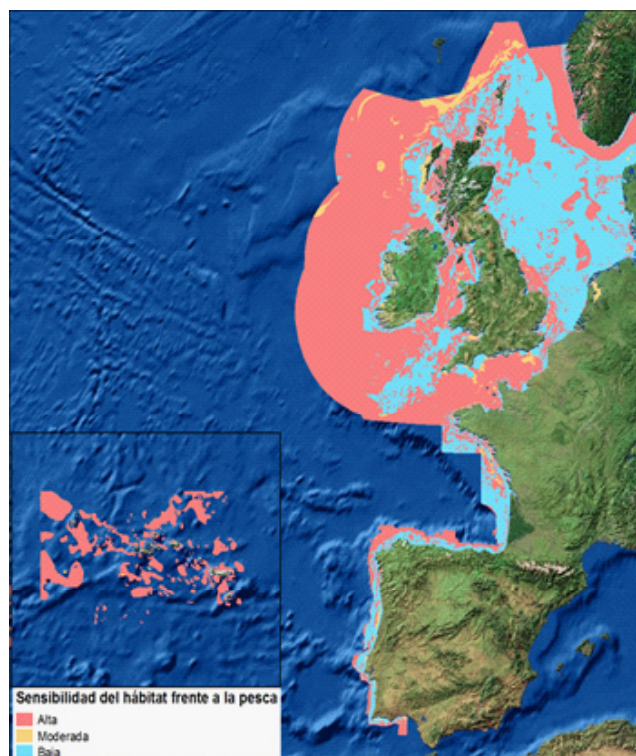


Figura 1 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto a la pesca.



Figura 3 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto a la acuicultura.



Figura 2 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto a la acuicultura.



Figura 4 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto al transporte marítimo.

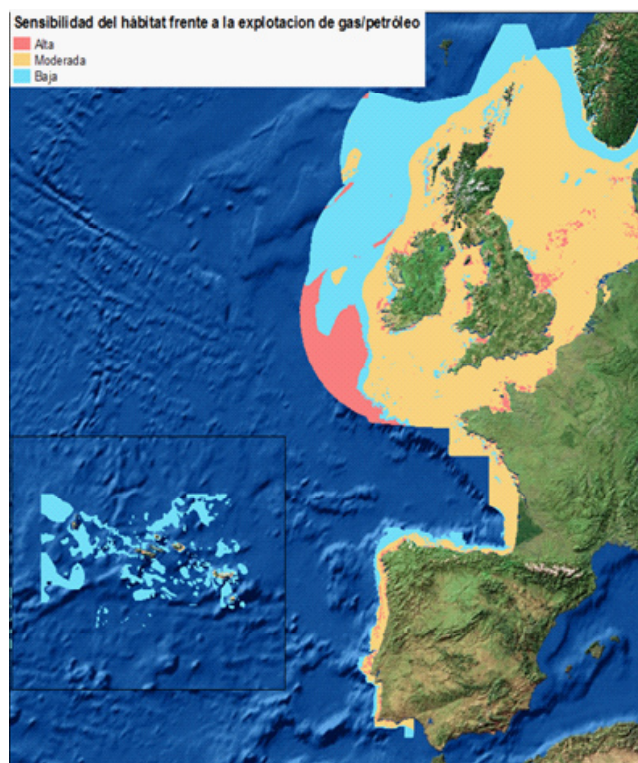


Figura 5 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto a la explotación de gas y petróleo.



Figura 7 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto a la construcción.



Figura 6 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto al turismo.

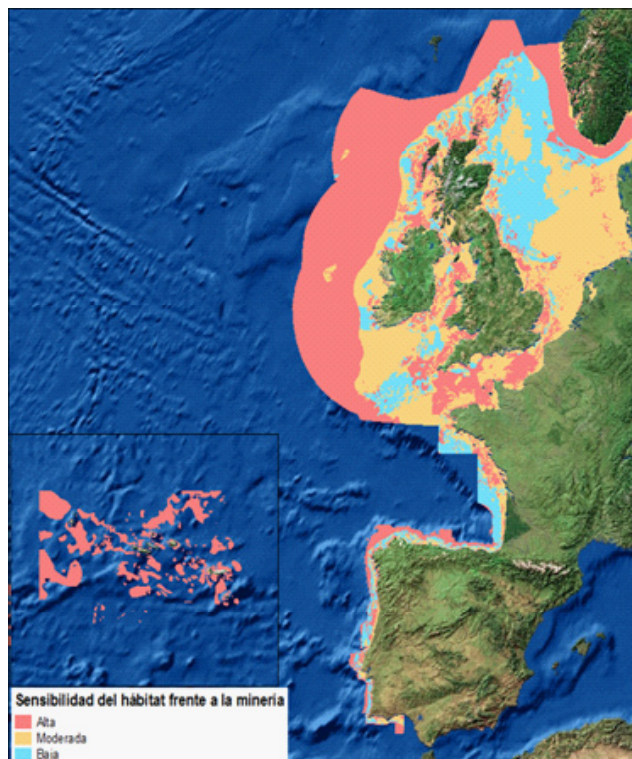


Figura 8 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto a la minería.

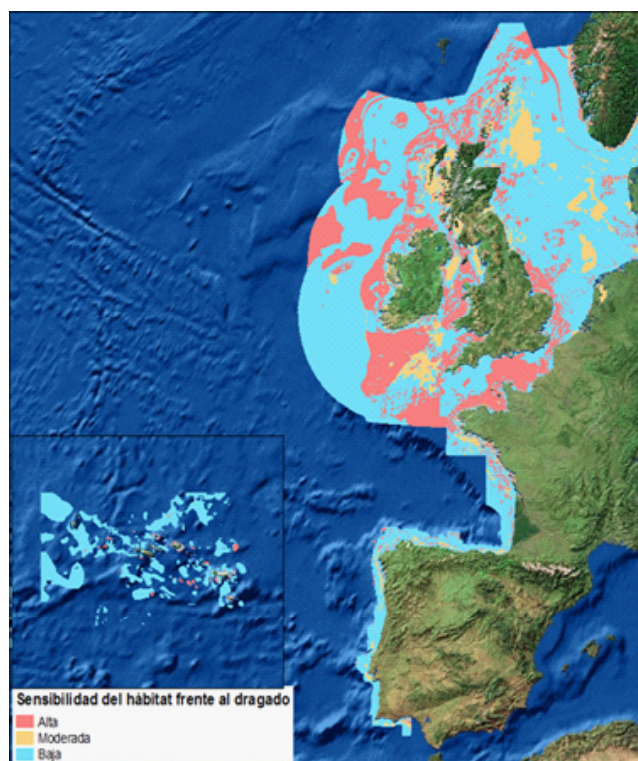


Figura 9 Distribución de la sensibilidad de los hábitats bentónicos respecto al dragado.

Anexo II

Tabla 1 Agrupación de la sensibilidad de los hábitats en función de los principales servicios del ecosistema proporcionados. Las categorías “high”, “low” y “negligible” agrupan aquellos hábitats que dan valores de 3,2 o 1 (respectivamente) para cada actividad. Por tanto, los servicios ecosistémicos proporcionados por cada grupo de hábitat (agrupado en función de su sensibilidad para las actividades) a su vez muestran valores de sensibilidad para cada actividad.

Ecosystem service		Categories	Fishing	Aquaculture	Discharges	Dredging	Coastal development	Mining	Maritime transport	Gas/Oil exploitation	Tourism
			Median	Median	Median	Median	Median	Median	Median	Median	Median
Provisioning	Food provision	High	2	2	2	2	3	2	2	2	1
		Low	2	2	1	1	3	3	2	1	1
		Negligible	3		1	1	2	3		3	
	Raw materials (biological) (incl. Biochemical medicinal and ornamental)	High	2	2	2	2	2	3	2	2	2
		Low	1	2	2	2	3	2	1	2	1
		Negligible	3	2	2	2	3	3	1	2	1
Regulation	Air quality and climate regulation	High	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Low	1	2	1	1	2	2	2	2	1
		Negligible	2	2	2	2	3	3	1	2	1
	Disturbance and natural hazard prevention	High	2	2	1	2	2	3	2	2	1
		Low	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Negligible	2	2	2	2	3	2	1	2	1
	Photosynthesis, chemosynthesis and primary production	High	3	2	2	2	2	2	2	2	2
		Low	1	2	2	2	2	3	1	2	1
		Negligible	2	2	2	2	3	2	1	2	1
	Nutrient cycling	High	2	2	2	2	2	2	2	2	1
		Low	2	2	2	2	3	2	1	2	1
		Negligible	3	2	1	1	3	3	1	2	
	Reproduction and nursery	High	2	2	2	2	2	2	2	2	1
		Low	2	2	2	2	3	2	1	2	1
		Negligible	3	2	2	2	3	3	1	2	1
	Maintenance of biodiversity	High	2	2	2	2	2	3	2	2	1
		Low	2	2	2	2	3	2	1	2	1
		Negligible	3	2	3	3	3	2	1	3	1
	Water quality regulation and bioremediation of waste	High	2	2	2	2	2	2	2	2	1
		Low	2	2	2	2	3	2	1	2	1
		Negligible	3	2	2	2	3	3	1	2	1
Cultural	Cognitive value	High	2	2	2	2	2	2	2	2	1
		Low	3	3	2	2	3	3	2	3	1
		Negligible	2	2	2	2	3	2	1	2	1
	Leisure, recreation and cultural inspiration	High	2	2	2	2	2	2	2	2	2
		Low	1	2	2	1	2	2	2	2	1
		Negligible	2	2	2	2	3	3	1	2	1
	Feel good or warm glow	High	2	1	1	2	2	3	2	2	2
		Low	2	2	2	2	2	2	2	2	1
		Negligible	2	2	2	2	3	3	1	2	1

DERIO

 Astondo Bidea, Edificio 609
Parque Tecnológico de Bizkaia
48160 - Derio (Bizkaia)

SUKARRIETA

 Txatxarramendi ugarteia z/g
48395 - Sukarrieta (Bizkaia)

PASAIA

 Herrera Kaia, Portualdea z/g
20110 - Pasaia (Gipuzkoa)

