UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS



TESIS DOCTORAL

Estudio morfosedimentario de los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton (mar Cantábrico), y su aplicación para la declaración de espacios marinos protegidos y la planificación espacial marina

Morphosedimentary study of the Avilés and Capbreton submarine canyon systems (Cantabrian Sea), and their application for the declaration of marine protected areas and marine spatial planning

MEMORIA PARA OPTAR AL GRADO DE DOCTOR

PRESENTADA POR

María Purificación Gómez Ballesteros

Directores

Alfonso Muñoz Martín
Andrés Carbó Gorosabel

Madrid

© María Purificación Gómez Ballesteros, 2024

UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID

FACULTAD DE CIENCIAS GEOLÓGICAS



Estudio morfosedimentario de los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton (mar Cantábrico), y su aplicación para la declaración de espacios marinos protegidos y la planificación espacial marina

Morphosedimentary study of the Avilés and Capbreton submarine canyon systems (Cantabrian Sea), and their application for the declaration of marine protected areas and marine spatial planning

Tesis Doctoral / Doctoral Thesis

María Purificación Gómez Ballesteros

Directores:

Alfonso Muñoz Martín y Andrés Carbó Gorosabel †

Madrid, 2023

El presente trabajo ha sido financiado por el Instituto Español de Oceanografía (IEO) Centro Nacional del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC), que llevó a cabo las campañas oceanográficas durante los años 2012-2020 en el área de estudio y la coordinación de los trabajos sobre planificación espacial marina en la zona, siendo además el lugar de trabajo y análisis posterior, concretamente en el Centro Oceanográfico de Madrid; y los proyectos LIFE+ INDEMARES «Inventario y designación de la Red Natura 2000 en áreas del estado español» (LIFE07/NAT/E/000732), LIFE INTEMARES «Gestión integrada, innovadora y participativa de la Red Natura 2000 en el medio marino español» (LIFE15 IPE ES 012), ambos coordinados por la Fundación Biodiversidad; y los proyectos SIMNORAT «Supporting the Implementation of Maritime Spatial Planning in the North Atlantic Region» (EASME/EMFF/2015/1.2.1.3/03/SI2.742089, 2017-2019) y SIMATLANTIC «Supporting Implementation of Maritime Spatial Planning in the Atlantic region» (EASME/EMFF/2018/1.2.1.5/02/SI2.806423, 2019-2021) cofinanciados por la Comisión Europea a través de la Dirección General de Asuntos Marítimos y Pesqueros (DG MARE).



A Andrés Carbó (D. E. P.),
porque sin él nada de esto habría sido posible

A Julio, Miguel, Jimena, Jorge y Pablo,
porque sin ellos nada tendría sentido

AGRADECIMIENTOS

Esta tesis doctoral es fruto de un camino que comenzó en 1998 cuando, como alumna de 4.º de Ciencias Geológicas, tuve la oportunidad de participar en una campaña oceanográfica y, como dijo Odón de Buen, fundador del Instituto Español de Oceanografía, «conocí el mar... y sentí afanes insaciables por descubrir los secretos ocultos bajo las olas, y las causas del origen de los océanos». Desde aquel momento, supe que mi trayectoria estaría vinculada a las ciencias marinas, y así ha sido, aunque hasta ahora no haya podido sentarme a escribir esta tesis. Sin embargo, nada de esto habría sido posible sin la oportunidad y apoyo incondicional del Dr. Andrés Carbó (D. E. P.). Cuando el camino recorrido es tan largo, los agradecimientos a tantas personas que me han acompañado son muchos, pero también se han sumado duros obstáculos, aunque ninguno tan duro como la triste pérdida de aquellas personas que me han guiado a lo largo de este trayecto. Son muchos años, muchas singladuras y horas de mar, con momentos muy felices, y otros muy difíciles, y se han forjado fuertes amistades que perdurarán para siempre.

En primer lugar, mi más sincero agradecimiento a mis directores, el Dr. Andrés Carbó y el Dr. Alfonso Muñoz Martín por todo el esfuerzo, ánimo y empeño que han puesto durante años para que realizase esta tesis. Alfonso me ha acompañado desde el principio y hasta hoy, siempre recordándome «María, la tesis...», y por fin hemos llegado juntos a la meta; sin duda alguna, mi infinito agradecimiento como director de esta tesis, y sobre todo en la recta final, que tan dura y triste se nos ha hecho a ambos. Le agradezco profundamente y de todo corazón su apoyo y sus enseñanzas, y, en especial, su amistad y humanidad, porque ambos sabemos que sin todo ello esta fase final no habría terminado.

Y a Andrés... Nada me hubiera hecho más feliz que defender la tesis frente a ti, y sé que este deseo era compartido. Tú me diste la oportunidad de descubrir la investigación marina y me contagiaste tu pasión por las ciencias oceánicas; confiaste en mí y nunca has dejado de hacerlo en estos 25 años. Sé que sin tu guía no habría llegado a lograr las metas que he alcanzado. Gracias por haber sido un mentor excepcional, por haberme enseñado tanto sobre la geología marina y sobre la vida en general. Tus innumerables enseñanzas traspasan las páginas de esta tesis: valores como el esfuerzo y la lealtad, tu alegría y sentido del humor, tu derroche de energía y gran caballerosidad, y el increíble amor por la vida. Me guiaste, y me enseñaste a ser valiente, a confiar en mí, a arriesgar y a vivir intensamente disfrutando de la vida y sin cesar en el esfuerzo. Mi querido profesor, siempre me quedarán los recuerdos, anéc-

dotas, aventuras y enseñanzas vividas, y por supuesto «saber disfrutar de los pequeños placeres de nuestro trabajo».

A Manen (D. E. P.), porque mientras yo estaba terminando esta tesis tú estabas luchando tu última batalla, y aun así me estuviste dando consejos hasta el final. Gracias a Ana por haberme dado la oportunidad, aun en condiciones tan duras y tristes, de expresarle a Manen mi gratitud por lo que me enseñó aquel verano en el ROA, con aquella tesis inacabada sobre campos potenciales, en los que tanto estudié sobre el campo magnético terrestre que ¡ahora ni aparece en esta tesis! Sin embargo, tuve un maestro excepcional, cuyos consejos sí he aplicado en esta tesis más de veinte años después. Una persona verdaderamente extraordinaria, con una vocación absoluta e insaciable curiosidad por saber: cuando aún no teníamos Google, ¡ya teníamos a Manen!, una de esas personas que deberían ser eternas para contagiarnos de optimismo, y un queridísimo amigo. Ha sido un verdadero lujo haberme cruzado en tu vida y un honor haber tenido tu amistad.

Agradezco también la implicación y el esfuerzo de todos los coautores de las publicaciones en las que se sustenta esta tesis.

A todas las tripulaciones de los buques de investigación en los cuales se realizaron las campañas que han facilitado los datos para este estudio, en especial al B/O Ramón Margalef, en el que, incluso en condiciones tan adversas como la COVID-19, partimos a la mar en la que fue la primera campaña de investigación oceanográfica en tiempos de pandemia.

Agradezco al IEO, en el que he desarrollado por completo mi carrera profesional y al que considero mi segunda casa, los medios prestados para la realización de esta tesis doctoral. Aquí he tenido la fortuna de haberme rodeado de personas brillantes, inteligentes, positivas, honestas y comprometidas, que me han enseñado en lo profesional y en lo humano, y muchas veces sin ellas saberlo; por ello quiero agradecerles profundamente su acompañamiento constante, y la confianza que depositaron en mí, a mis compañeros del grupo de Geología de los inicios, Juan Acosta y Pedro Herranz.

A Paco Sánchez, pionero en el estudio de los ecosistemas marinos profundos, los hábitats y la conservación, gracias a los cuales se declaró la primera Área Marina Protegida en España y se lograron parte de los proyectos en los que se ha desarrollado esta tesis. Te doy las gracias por todo lo que me has enseñado, combinando la geología y la biología, y sentando las bases en las que se ha fundamentado la actual

metodología de trabajo en el estudio de los ecosistemas marinos. Gracias por transmitirme tu vocación y entusiasmo, y por tu apoyo y ayuda en esta tesis doctoral.

A Demetrio de Armas (D. E. P), por confiar en mí y brindarme la oportunidad de trabajar en planificación espacial marina cuando aún ni sabíamos lo que era; gracias por haberme abierto esa puerta, porque sin aquella oportunidad hoy no estaría donde estoy.

A Eduardo Balguerías, Pablo Abaunza y Rafa González-Quirós, por vuestra confianza, gratitud y amistad.

A José Ignacio Díaz, por tus consejos, por obligarme a cuidarme, y por recodarme que en casa tenía a mis hijos esperando. Cuando me nombraron jefa de área me dijiste «yo también fui geólogo una vez...»; con mucho esfuerzo, pero yo aún sigo siéndolo, y ¡aquí va esta tesis como prueba de ello!

A Javier Ruiz, por tu apoyo y confianza, porque esta tesis fue redactada en un momento muy duro y tú ayudaste a que fuese más llevadero. Gracias por todo lo que me has enseñado en estos años, sin tú saberlo, y que además ha traspasado el plano profesional, por lo que creo que puedo considerarte un amigo.

A mis compañeros y compañeras del Grupo ECOMARG, con los que he compartido proyectos, campañas, informes, publicaciones, buenos momentos, mucho aprendido y un recorrido que nos ha unido como compañeros y amigos.

A todos mis compañeros del IGME, del IHM y del ROA, que me acogieron desde que era una joven becaria y que tanto me han enseñado, en especial a mi amigo Jesús Gálvez, maño incansable que me ha acompañado a lo largo de todos estos años, y a Antonio Correa, Salva Espinosa y Juan Rengel, por vuestra paciencia en enseñarme CUBE y vuestra amistad. Y a Estefanía, Adolfo y Fernando por vuestra ayuda, apoyo, compañerismo y cariño.

Y por supuesto, a Ignacio Bermejo y Ricardo Gómez, siempre a mi lado. ¡No cambiéis nunca! A Ibon Galparsoro, por haberme animado tanto a redactar la tesis, y por su inestimable ayuda y sus consejos, especialmente en esos momentos en que tanto se me atascó.

A mis compañeros y compañeras del Grupo GEMAR, que siempre me han animado y apoyado a realizar la tesis, en especial a Desi, Tomás, Nieves y José Luis por todos los ánimos que constantemente me habéis dado. A Beatriz Arrese por su gran apoyo,

ayuda y compañerismo: ha sido un auténtico placer trabajar contigo. A Natalia, por haber cogido el testigo con fuerza. Al grupo de GIS por su apoyo en la cartografía, en especial a Luismi y Dulce por la ayuda con los mapas.

A Eugenio Fraile y Juanma Ruiz, gracias por esos impulsos y energía positiva que me habéis dado siempre. ¡Os hacéis querer!

Y por supuesto, a Olga, por tu alegría, tu compañerismo, tu ayuda con las correcciones (top ten) y tu energía contagiosa, pero sobre todo por tu cariño.

A Alberto Serrano y Paula Valcarce, GRACIAS, sin más. Por favor, nunca dejéis de hacerme llorar, los tres sabemos lo que hay detrás.

A mis ángeles, Cris, Mónica e Irene, con las que he pasado momentos inimaginables a lo largo de estos años de trabajo y amistad, y con las cuales todo este esfuerzo ha sido más llevadero. Habéis sido de lo mejor que me ha pasado en mi trayectoria profesional. Gracias por estar siempre, por trasmitirme vuestra energía, por ayudarme a no perder nunca el ánimo y buen humor, por no haberme fallado nunca, por darme un abrazo que me ha arropado el alma cuando más lo he necesitado, por todo vuestro cariño y por muchos más hasta… juntas.

A Ana Morillas, por haber estado siempre ahí aun cuando no estabas ni para ti. Gracias amiga.

A mis compañeros y amigos del Dpto. de Geofísica de la UCM, a Pilar Llanes y José Luis Granja, porque después de tantos años nos hemos convertido en una familia, que siempre está, para lo bueno y para lo malo, como la vida ya nos ha enseñado recientemente.

A María Druet, que ha sido compañera y amiga en todas las circunstancias profesionales y personales. Gracias por motivarme siempre a realizar la tesis, por ayudarme en los momentos más duros, desde aquel bus rumbo al aeropuerto de Santo Domingo, pasando por la oposición, y hasta consolarme en los tristísimos momentos de la recta final de esta tesis.

A Mari Ángeles, por haber estado a mi lado todos los días de mi vida en estos últimos años, animándome, cuidándome, ayudándome a levantarme cuando me he derrumbado y a recobrar la confianza en mí. Gracias por tu paciencia, siempre te hago esperar. Por muchas más lunas llenas juntas.

A Marta, por haber llegado en el peor momento de esta tesis para acompañarme en el proceso final. Has sido mi ángel de la guarda. Te aseguro que sola, y lo sabes, no podría haberla finalizado. No creo que haya nadie que conozca la tesis tan al detalle como tú. Gracias por tu profesionalidad y por tu inmenso cariño y apoyo, porque me has acompañado cada día, cada hora y cada minuto en el duro proceso de realizar la revisión y poner punto final. Gracias también a Augusto, que te puso en mi camino, además de por ser un compañero y una persona excepcional, porque me has ayudado mucho estos años duros de tesis.

A mi madre, porque aunque le cuesta entender mi trabajo y mis viajes, algunos de larga estancia en océanos lejanos o en la Antártida, sé que está muy orgullosa de mí y de mi trabajo. Y a mi padre, allá donde estés: «papá, esta vez sí». A ambos les agradezco haberme enseñado con su ejemplo que la vía para conseguir las cosas es el esfuerzo. A mi abuela Catalina, demasiado presente en mi cabeza en esta tesis porque no podía dejar de escuchar aquellas palabras: «cuando hayas terminado, nadie te preguntará cuánto tiempo te llevó hacerlo, solo verán si está bien hecho»; de las lecciones de costura a una niña a la tesis de una mujer adulta… ¡¡¡Tal vez sin ese mantra, esta tesis la hubiese terminado antes!!!

A mi familia, porque elaborar una tesis a estas edades es un trabajo de toda la familia, y ellos han sabido vivir mis ausencias mientras estaba de campañas, y han crecido viendo que «las geólogas marinas cogen un taxi y se van» o que «los fines de semana, mamá hace dibujos en el ordenador y los llama tesis». A Julio, por comprender y apoyar esta vocación, y por ayudarme a hacer que la familia se sintiese siempre unida y presente, aunque nos separasen miles de kilómetros o una puerta detrás del ordenador.

ÍNDICE

Agradecimientos ix
Siglas y acrónimos xix
Listado de figuras xxv
Listado de tablas xxxvii
Resumen xxxix
Abstract xli
Capítulo 1 3
Introducción 5
1.1. Hipótesis y objetivos 21
1.2. Estructura 22
1.3. Marco geológico y oceanográfico 26
Capítulo 2 37
Material y métodos 39
2.1. Metodología para la caracterización geológica del fondo marino 41
2.2. Metodología para la planificación espacial marina 51
Capítulo 3 57
Geomorphology of the Avilés Canyon System, Cantabrian Sea (Bay of Biscay) ... 59
Abstract 59
3.1. Introduction 60
3.2. Materials and Methods 64
3.3. Physiography 66
3.4. Avilés Canyon System 84
3.5. Discussion 87
3.6. Conclusions 92
Acknowledgments 94
Capítulo 4 95
Morphosedimentary characterization of the Capbreton Submarine Canyon System, Bay of Biscay (Cantabrian Sea) 97
Abstract 97
4.1. Introduction 98

4.2. Geological and oceanographic settings 99
4.3. Material and methods 102
4.4. Results 104
4.5. Discussion 121
4.6. Conclusions 131
CRediT authorship contribution statement 132
Declaration of competing interest 133
Acknowledgements 133
Capítulo 5 135
La geomorfología como base en la clasificación de los hábitats bentónicos y su aplicación en la gestión de las áreas marinas protegidas y la ordenación espacial marina 137
5.1. Introducción 137
5.2. Identificación, caracterización y elaboración de mapas de distribución de hábitats bentónicos 141
5.3. Clasificaciones de tipos de hábitats 143
5.4. La geomorfología como base en la identificación y caracterización de hábitats: aplicación y demostración 146
5.5. Aplicación de la cartografía geológica en la ordenación espacial marina 175
5.6. Discusión y conclusiones 178
Capítulo 6 181
Los casos piloto de ordenación del espacio marítimo transfronterizos y su implicación en el proceso nacional en España 183
Abstract 183
Resumen 183
6.1. Introducción 184
6.2. Metodología, fuentes de información y ámbito de estudio 190
6.3. El proceso nacional de Ordenación del Espacio Marítimo: Elaboración de los POEM 191
6.4. Análisis sobre las implicaciones de los proyectos pilotos transfronterizos en el proceso nacional de los POEM 205
6.5. Resultados y discusión 212
6.6. Conclusiones 218

Capítulo 7 ..... **221**
Transboundary cooperation and mechanisms for Maritime Spatial Planning implementation. SIMNORAT project 223
Abstract 223
7.1. Introduction 224
7.2. Objectives 229
7.3. Material and methods 230
7.4. Analysis and results 238
7.5. Case studies 247
7.6. Discussion 252
7.7. Conclusions 257
CRediT authorship contribution statemen 261
Acknowledgements 261
Capítulo 8 ..... **263**
Discusión 265
8.1. Estudio de los fondos marinos 265
8.2. Ordenación espacial marina 268
8.3. Implementación del enfoque ecosistémico en la OEM 272
8.4. Ciencia aplicada 276
Capítulo 9 ..... **279**
Conclusiones y recomendaciones 281
Bibliografía **289**
Anexo **339**
Índice de productos cartográficos 341
Sistema de cañones submarinos de Avilés 341
Sistema de cañones submarinos de Capbreton 341

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

ACS	Avilés Canyon System (Sistema de Cañones de Avilés)
ADOC	Asturias Deep Oceanic Channels (Canales oceánicos profundos de Asturias)
AMP	Áreas Marinas Protegidas
BEA	Buen Estado Ambiental
BBNJ	Biodiversity Beyond National Jurisdiction (Biodiversidad Más Allá de la Jurisdicción Nacional)
BPI	Bathymetric Position Index (Índice de Posición Batimétrica)
BTM	Benthic Terrain Modeler (Modelador de terreno bentónico)
CBB	Convenio sobre la Biodiversidad Biológica
CBCS	Capbreton Canyon System (Sistema de Cañones de Capbreton)
CBMS	Morphology of the Capbreton Mega-Slide (Morfología del Megadeslizamiento de Capbreton)
CBPF	Capbreton Pockmarks Fields (Campos de Pockmarks de Capbreton)
CC	El Corbiro Canyon (Cañón de El Corbiro)
CCA	Canonical Correspondence Analysis (Análisis de Correspondencia Canónica)
CEDEX	Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas
CGC	El Corbiro-La Gaviera Canyon (Cañón El Corbiro-La Gaviera)
CIEM	Comisión Interministerial de las Estrategias Marinas
CONVEMAR	Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar
CTD	Conductivity, Temperature, and Depth (Conductividad, Temperatura y Profundidad)

CUBE	Combined Uncertainty and Bathymetric Estimator (Estimación Combinada de Incertidumbre y Batimetría)
CWC	Cold-water Coral Reef
DA	Directiva Aves
DEM	Digital Elevation Model (Modelo Digital de Elevación)
DG MARE	Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries (Dirección General de Asuntos Marítimos y Pesqueros)
DH	Directiva Hábitats
DM	Demarcaciones Marinas
DMEM	Directiva Marco sobre la Estrategia Marina
DOEM	Directiva marco para la Ordenación del Espacio Marítimo
EBA	Ecosystem-Based Approach (Enfoque Basado en el Ecosistema)
EBM	Ecosystem-Based Management (Gestión Basada en el Ecosistema)
EM	Estados Miembros
EMP	Espacios Marinos Protegidos
ENACW	Eastern North Atlantic Central Water (Agua Central del Atlántico Norte Oriental)
EUNIS	European Nature Information System (Sistema europeo de información sobre la naturaleza)
FOS	Foot Of the Slope (Pie del talud)
GC	La Gaviera Canyon (Cañón de La Gaviera)

GIS	Geographic Information Systems (Sistemas de Información Geográfica)
HFS	Habitat Forming Species (Especies Formadoras de Hábitats)
HIC	Hábitats de Interés Comunitario
ICZM	Integrated Coastal Zone Management (Gestión Integrada de Zonas Costeras)
IDE	Infraestructuras de Datos Espaciales
IEHEM	Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos
IOC	Intergovernmental Oceanographic Commission (Comisión Oceanográfica Intergubernamental)
IPC	Iberian Poleward Current (Corriente Ibérica hacia el Polo)
IVCRE	Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas
LIC	Lugar de Importancia Comunitaria
LME	Large Marine Ecosystems (Grandes Ecosistemas Marinos)
LPHMPE	Lista Patrón de los Hábitats Marinos Presentes en España
LSW	Labrador Sea Water (Agua del Mar del Labrador)
MS	Member States (Estados Miembro)
MSFD	Marine Strategy Framework Directive (Directiva Marco sobre la Estrategia Marina)
MSP	Maritime Spatial Planning (Planificación Espacial Marina)
MSPD	Maritime Spatial Planning Directive (Directiva marco para la Ordenación del Espacio Marítimo)
MW	Mediterranean Water (Aguas Mediterráneas)

NAWD	North Atlantic Deep Water (Aguas Profundas del Atlántico Norte)
ODS	Objetivos de Desarrollo Sostenible
OECD	Organisation for Economic Cooperation and Development (Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos)
OEM	Ordenación del Espacio Marítimo
OM	Organic Matter (Materia Orgánica)
PEM	Planificación Espacial Marina
PMI	Política Marítima Integrada
POEM	Planes de Ordenación del Espacio Marítimo
RAMPE	Red de Áreas Marinas Protegidas de España
RN2000	Red Natura 2000
ROTV	Remotely Operated Towed Vehicle (Vehículo Remolcado de Operación Remota)
ROV	Remotely Operated Vehicle (Vehículo Operación Remota)
SCA	Sistema de cañones de Avilés
SCCB	Sistema de cañones de Capbreton
SDM	Spatial Distribution Model (Modelo de Distribución Espacial)
SIMPER	Similarity Percentage (Porcentaje de Similitud)
SIS	Seafloor Information System (Sistema de Información del Fondo Marino)
SRIA	Strategic Research and Innovation Agenda (Agenda Estratégica de Investigación e Innovación)

TOPAS	TOpographic PArametric Sonar (Sonda Paramétrica Topográfica)
UNCLOS	United Nations Convention on the Law of the Sea (Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar)
VAB	Valor Agregado Bruto
VMS	Vessel Monitoring System (Sistema de Seguimiento de Buques)
WMS	Web Map Services (Servicio de Mapas Web)
WFD	Water Framework Directive (Directiva Marco del Agua)
ZEC	Zona de Especial Conservación
ZEE	Zona Económica Exclusiva
ZEPA	Zona de Especial Protección para las Aves

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Economía azul sostenible: principios, desafíos, oportunidades y sectores. (IOC-Unesco & EC, 2020a). 5

Figura 2. Evolución de los sectores de la economía azul en España desde 2009 hasta 2018 (EC, 2021b). 6

Figura 3. Valor de los servicios ecosistémicos en la economía azul europea. 7

Figura 4. a) Valores de la aceleración azul en las últimas décadas, en los que destaca el incremento desde el año 2000. b) El océano se considera cada vez más un motor de las necesidades humanas presentes y futuras de alimentos, materiales y espacio, y las demandas están clasificadas de acuerdo a los usos del océano de importancia directa para la sostenibilidad del ecosistema, el bienestar humano y el crecimiento económico; en la circunferencia externa se han identificado algunos de los principales impulsores distales que dan forma a este nuevo contexto oceánico mundial. Modificado de Jouffray et al. (2020). 8

Figura 5. Objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 y metas del objetivo 14 «Vida submarina». Modificado de IOC-Unesco & EC (2020b). 11

Figura 6. Relación entre la planificación espacial marina (PEM) y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (IOC-Unesco & EC, 2020b). 14

Figura 7. Definiciones, válidas y operativas, para todas las aguas marinas cubiertas por las directivas sobre naturaleza de la UE, de los diferentes tipos de hábitats naturales marinos de interés comunitario. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITERD], 2023) 17

Figura 8. Bloque diagrama representativo de la investigación del fondo marino y el uso de los recursos vivos y no vivos de los océanos a través de los diferentes sectores. 20

Figura 9. Diagrama representativo de la estructura de la presente tesis. 23

Figura 10. Marco geológico y tectónico del margen continental septentrional ibérico y de los dominios abisales adyacentes. ZEEE: Zona Económica Exclusiva Española. Modificado de Rodríguez-Fernández et al. (2014) y Maestro et al. (2021). Selec-

ciones de anomalías magnéticas de Seton et al. (2014). MDT de fondo de EMODnet Bathymetry (https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry) 27

Figura 11. A) Situación general del área de estudio de los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton. B) Modelo digital del terreno del fondo en escala de grises de EMODnet Bathymetry (https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry) y escala de color de batimetría en el rango de profundidades obtenidas durante los proyectos LIFE+ INDEMARES y LIFE INTEMARES en dichas áreas. 32

Figura 12. Esquema del patrón de circulación de las distintas masas de agua en la zona del golfo de Vizcaya. IPC: Iberian Poleward Water; ENACW: Agua Central Noratlántica Oriental; MW: Agua Mediterránea; LSW: Agua del Labrador y NADW: Agua Noratlántica Profunda. Modificada de Gómez-Ballesteros et al. (2023). 34

Figura 13. Metodología aplicada en la presente tesis para abordar el estudio y la caracterización de los fondos marinos, y su aplicación en la planificación espacial marina, según la metodología establecida para un proceso PEM. 40

Figura 14. Diferentes escalas de la metodología de muestreo empleada para el estudio de ecosistemas y hábitats marinos. 41

Figura 15. Pantallas de control en el laboratorio acústico durante la adquisición de datos en una campana oceanográfica. A) Funcionamiento de la ecosonda multihaz: adquisición batimetría en el sistema de cañones de Avilés. B) Cobertura del fondo oceánico en función de la profundidad. C) Sistema de adquisición SIS (Seafloor Information System) para la ecosonda EM-710 Kongsberg. 43

Figura 16. Funcionamiento de la sonda paramétrica TOPAS (TOpographic Parametric Sonar): efecto paramétrico, perfil sísimico obtenido y rango de operación vs. penetración del sistema. Fuente: documentación técnica de la ecosonda EM-710 Kongsberg. 44

Figura 17. A) Vehículo remolcado de operación remota (ROTV) Politolana. B) Vehículo de operación remota (ROV) Liropus 2000. C) Draga de roca. D) *Software* de control del ROTV Politolana. E) Draga de sedimento Smith McIntyre. F) Draga de sedimento Shipek. G) Tamizado de muestras de sedimento. H) Plataforma multipropósito *lander* Geodia. 45

Figura 18. Metodología aplicada para el estudio y la caracterización de los fondos marinos. 50

Figura 19. Resultados de la planificación espacial marina y planificación por sector. Modificado de Ehler & Douvere, 2009. 51

Figura 20. Límites administrativos y territoriales, y ámbito de aplicación de la DOEM..... 52

Figura 21. Enfoque secuencial (paso a paso) de la planificación espacial marina o PEM (Ehler & Douvere, 2009). 54

Figura 22. Diagrama de la metodología aplicada en un proceso PEM. En color azul, los pasos necesarios para generar el conocimiento científico que sea la base para la toma de decisiones a la hora de que las correspondientes administraciones establezcan los planes, y que se han llevado a cabo en la presente tesis. En color gris, los pasos correspondientes a la planificación, implementación, monitorización y evaluación de los planes que no fueron implementados en los proyectos piloto, ya que corresponden a las autoridades competentes. 55

Figure 23. Multibeam bathymetry of studied area. Onshore Geology from Julivert (1971) and Pérez-Estaún et al. (1988). Seismic Epicenters from Spanish National Geographic Institute (IGN) database. Black box indicates location of Figure 8. Inset: main hydrographic circulation patterns and mean flow values (numerals in cm s^{-1}) largely from Pingree (1993) and González-Pola et al. (2012). Red arrows = Mediterranean Water; black arrows = North Atlantic Current; orange and blue arrows = continental spring–summer/autumn–winter wind driven shelf currents; green arrows = European slope current (Pingree et al., 1999); brown arrows = Armorican/Western English Channel shelf currents; GS = Goban Spur; GB = Galicia Bank. 1000 m isobath is shown (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.). 61

Figure 24. Shaded bathymetric map of the study area with indication of the toponymy of canyons. CN = El Canto Nuevo marginal platform; AF = El Agudo de Fuera High; PC = Proto-canyon. AC = Avilés canyon. GC = Gaviera canyon. CB = Corbiro Canyon. NC = Navia canyon. Isobath equidistance 100 m. 62

Figure 25. Slope map in degrees of the study area. 67

Figure 26. Upper panel: Continental shelf DTM elaborated with two different grid spacing (75 x 75 and 15 x 15 m) south of Avilés Canyon. AC=Avilés Canyon; R=high relief rock outcrops (note the folded and faulted lower-left part). BD=Barchan-type

dunes. Lower panel: high resolution seismic profile (TOPAS) L_039_0511. S=unconsolidated sediment cover; SW=flat topped sediment waves; R=high relief rock outcrop; M=multiple. 68

Figure 27. Upper panel: shaded relief map showing the eastern part of the continental shelf (from AC Head). Illumination from the NW. MR=Massive rocky outcrop; R=E–W oriented high relief rock outcrop; FR=Folded and faulted low relief rock outcrop; White star: location of rocky dredge DR-1 (recrystallized sandstone). Lower panel: high resolution seismic profile (TOPAS), showing basement (B) and thin sediment cover in the east part of the profile (S); M=sea-bottom multiple. Note the presence of smooth basement outcrop (1–2); See location of profile in upper panel, white line (A–A′). 69

Figure 28. Upper panel: shaded relief map showing the western part of the continental shelf, with indication of the toponymy of canyons. Illumination from the NW. Lower panel: A–A′: Topas Profile over high relief rock outcrops (R). S=very thin cover of unconsolidated sediment. B–B′=flat seafloor with high reflectivity passing at its western end to acoustic basement with 3 sedimentary units (1–3). M=seafloor multiple..... 72

Figure 29. (A) Shaded relief map of the west Upper Continental Slope. Illumination from the NW. White dotted line=Sediment drift; White arrows=gullies and canyons; (B): Topas profile L_184_0410 over sediment drift. Note the irregular surface due to erosional features. (C): Topas profile Sis_5_0410 over El Canto Nuevo marginal platform. O=undulated sea-floor morphology indicating erosive processes. 1-2-3=Sedimentary units dipping to the NW..... 73

Figure 30. Upper panel: 3D view of the ACS. knp=knickpoints; lowercase black letters and uppercase white letters mark the extension of bathymetric profiles depicted below. Lower panel: bathymetric profiles, bathymetry shown in meters. ... 75

Figure 31. Upper panel: DTM of GC and CC area with indication of the toponymy of canyons. Illumination from the NW. H=Elongated rocky high; S=Sediment accumulation attached to the west wall; White lines indicate location of Topas profiles shown below. Topas profile TR_L138_BC14: S=Sediment unit leaned against the east wall; C=Basement crest oriented S–N and parallel to GC axis. Note the strong asymmetry of the walls, the SW one being much steeper. Topas Profile L_068_0410, crossing GC S–N: B=circular mounds, possible bioherms; C=Basement crest

oriented S–N and parallel to GC axis; BD=acoustic basement showing monoclinal strata dipping to the N. 76

Figure 32. (A) DTM of El Canto Nuevo marginal platform. TH=bathymetric threshold dividing AC-1E from CGC-4S. (B) DTM of El Agudo de Fuera high. IR=isolated rocky outcrop; LR=linear rocky outcrop; Sc=scarp; PC=Proto-canyon; white dotted line=moat. 77

Figure 33. (A) Shaded relief map of El Canto Nuevo (illumination from the NW) showing head scarps of gravity sliding some of which have 50–70 m relief (numbers inside circles). B: Shaded relief map (illumination from the NW) of the divide between CC and CGC-1S canyons. Note head scarps of 60–70 m relief. 80

Figure 34. Geomorphologic interpretation map of the ACS area. AC=Avilés Canyon; CC=El Corbiro Canyon; GC=La Gaviera Canyon: CGC=El Corbiro – La Gaviera Canyon; NC=Navia Canyon; CN=El Canto Nuevo marginal platform; AF=El Agudo de Fuera high..... 81

Figure 35. Upper panel: shaded relief map of the Biscay Abyssal Plain east of ACS mouth. Illumination from the NW. White arrows=North and South Asturias Deep Oceanic Channels (ADOC) axis; white dots with associated numbers=water depth in meters. A–A′=S–N bathymetric profile. ED=eroded gully divides. Lower panel: bathymetric S–N profile across ADOC. 83

Figure 36. Study site location within the southeastern region of the Bay of Biscay and multibeam bathymetry available of the study area. Inset: Main hydrographic circulation patterns and mean flow values (numerals in cm s^{-1}) largely from Pingree et al. (1986) and González et al. (2004). Red arrows = Mediterranean Water (MW); Yellow arrows = Labrador Sea Water (LSW); Black arrows = North Atlantic Central Water (ENACW); Purple arrows = North Atlantic Deep Water (NAWD); Green arrows = Iberian Poleward Water (IPL). (Modified from Gómez-Ballesteros et al., 2014). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.) 100

Figure 37. Location of the sampling station during Intemares_Capbreton 0619 y 0620 surveys. 101

Figure 38. Digital elevation model (10 m resolution) with location of the topo-bathymetric profiles in Figure 43 and the main toponyms of the area in Table 7. Areas with no new acquired high-resolution multibeam bathymetry have been

completed with EMODnet bathymetry grid (grey colour). The isobaths equidistance is 200 m. 105

Figure 39. Derived maps from bathymetry data: Hillshade (A), Slope (B), Aspect (C), Terrain ruggedness (D), Curvature (E) and Backscatter (F). 106

Figure 40. Bathymetric Position Index maps: A) Broad scale and B) Fine scale. C) Morphological-derived classification map and its values in table classification. 107

Figure 41. (A) Sampling location. (B) Spatial distribution and variability in the grain size of the soft-bottom. (C) Spatial distribution and variability in the percentage of mud. (D) Spatial distribution and variability in the percentage of sand. (F) Spatial distribution and variability in the percentage of organic matter. (E) Spatial distribution and variability in the percentage of and gravel. 108

Figure 42. Seabed substrate characterization from the reflectivity mosaic and the percentage of gravel, sand, and mud in the study area. 109

Figure 43. 3D view of the study area and bathymetric profiles location. In number from 1 to 9 the tributary canyons (Table 7) main canyon with number 10. Dashed lines in white correspond to tectonic direction 110-130° (A). Bathymetric profiles (B). 110

Figure 44. Photograph of the facies identified in the principal domains of the Capbreton Canyon System, acquired with ROTV Politolana and lander Geodia during Intemares_Capbreton 0619 and 0620 surveys. 111

Figure 45. Geomorphological interpretation map of the Capbreton Canyon System. 112

Figure 46. Sedimentary and rocky morphologies in the continental shelf. 113

Figure 47. 3D view of the canyon system with the main flow (A). Hierarchical classification for the CBCS in three orders: main canyon, tributary canyons, and channels and gullies (B). 116

Figure 48. Correlation between north flank and south flank terraces of the main canyon. A) Three terrace levels at DTM (10 m resolution). B) Slope map in degrees of the study area. C) High resolution seismic profiles (TOPAS) showing different terraces levels, slumps, faults and pockmarks incisions. See location of profiles in A) and B) panels. 118

Figure 49. High resolution seismic profiles (TOPAS) showing different pockmark stages at different ranges of depth in the intertributary platforms. DEM in grey colour scale with backscatter mosaic in colors and seismic profiles location. Profiles L38 and L54 do not cross the L142 but their equivalent scare sediment cover outcrops and positions have been projected in L42 to show an example. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.) 119

Figure 50. El Zapato intertributary platform with pockmarks field in DEM (A). Backscatter mosaic (B) and pockmark detail in backscatter over DEM (C) 3D view (D) L- 24 high resolution seismic profile (E) and photography inside the pockmark took with lander Geodia. 121

Figure 51. 3-D diagram model showing the main morphosedimentary and morpho-tectonic features and related processes in the CBCS. 122

Figure 52. Mass movements evolution in the study area. Examples for slide, slump and debris flows in the DEM (5 m resolution) and high resolution seismic profiles. 126

Figura 53. Distribución espacial de algunas variables ambientales obtenidas a partir de los estudios geológicos en el AMP El Cachucho en el mar Cantábrico (primera área marina protegida en España): A) Profundidad, B) Reflectividad, C) Pendiente, D) Escala fina BPI, E) Orientación, F) Rugosidad. (Sánchez et al., 2017). 152

Figura 54. Resultados del análisis multivariante (análisis de correspondencia canónica o CCA) que muestran las contribuciones ambientales (flechas rojas) para los conjuntos de especies objetivo; se considera que las especies destacadas estructuran los hábitats del 1170 Arrecifes, basado en modelos de hábitats adecuados; las ubicaciones estimadas de las clases de hábitat ISOCLUSTER corresponden a los cuadros azules. (Sánchez et al., 2017). 153

Figura 55. Distribución espacial prevista de las ocho clases de hábitat obtenidas del análisis ISOCLUSTER utilizando batimetría, reflectividad, pendiente y escala fina BPI como variables ambientales. (Sánchez et al., 2017). 154

Figura 56. Muestreos realizados durante el Proyecto INDEMARES en el área del sistema de cañones submarinos de Avilés. 156

Figura 57. Fotografías representativas de los principales hábitats de fondos sedimentarios del sistema de cañones de Avilés: arenas gruesas circalitorales con *Gracilechinus acutus* (A), arenas finas circalitorales y batiales con *Munida sarsi* (B), arenas finas batiales con *Ophiura ophiura* (C), arenas finas batiales dominadas por Hormathiidae (*Actinauge richardi*) (D), fondos sedimentarios batiales no fangosos con erizos de cuero (*Araeosoma fenestratum* y/o *Phormosoma placenta*) (E) y fangos batiales con *Pheronema carpenteri* (F). 158

Figura 58. Fotografías representativas de los principales hábitats de fondos duros identificados en el sistema de cañones de Avilés: fondos rocosos circalitorales con *Dendrophyllia cornigera* y *Phakellia ventilabrum* (A), roca batial con *Asconema setubalense* (B), fondos rocosos profundos con esponjas (C), fondos rocosos profundos con la esponja litistida *Neoschrammeniella aff. bowerbankii* (D), fangos batiales con dominancia de *Kophobelemnon stelliferum* (E) y fangos batiales con foraminíferos (*Syringammina*) (F). 159

Figura 59. Fotografías representativas de los principales hábitats encuadrados en los arrecifes de corales de aguas profundas: arrecife de coral con *Phelliactis hertwigi* (las anemonas se fijan sobre el coral muerto compactado) (A), arrecife de coral con estrellas brisíngidas (en zonas con mucho aporte sedimentario sobre el coral del cañón de Avilés) (B), arrecife de coral con *Aphrocallistes beatrix* (C), arrecife de coral con *Leiopathes* y *Acanthogorgia* (D), arrecife de coral con *Parantipathes* (E) y roca batial colmatada de sedimentos con *Acanthogorgia* y *Touarella* (F). 160

Figura 60. Batimetría y mapas derivados del sistema de cañones de Avilés. Resolución espacial de 50 m: batimetría (A), pendientes (B), curvatura (C), Orientación (D), BPI grueso (E) y BPI fino (F). 161

Figura 61. A) Mapa de reflectividad del sistema de cañones de Avilés, con una resolución de 10 m. B) Distribución espacial de las muestras de sedimento, donde se muestran los porcentajes en arena gruesa, arena fina y fango. C) Mapa de intensidad de reflectividad que muestran los distintos tipos de fondo. D) Distribución espacial del contenido de materia orgánica de las muestras. Todas las muestras fueron adquiridas en el marco del proyecto INDEMARES.....162

Figura 62. Este mapa geomorfológico presenta un mayor detalle y resolución que el elaborado en 2014 (Gómez-Ballesteros et al., 2014), gracias al desarrollo tecnológico implementado en las últimas versiones del *software* de procesado Caris HIPS

and SIPS (11.3), que ha permitido reprocesar la información obtenida con ecosondas multihaz y obtener mejores resultados. 163

Figura 63. Principales regiones geomorfológicas que han sido utilizadas como variables ambientales en el estudio de la distribución espacial de los hábitats. 164

Figura 64. Grupo jerárquico de agrupamientos bentónicos. Las etiquetas indican lances codificados con encuesta, año 0: 2010 y 1: 2011. La parte después del guion bajo indica el número de muestra. Los grupos fueron identificados por profundidad. Plataforma media (MS ~200 m), ruptura de plataforma (SB ~300-400 m), talud superior (USL ~500-600 m), talud medio superior (UMSL ~600-1100 m), y talud medio inferior (LMSL ~1200-1500 m). (Modica et al., 2022). 166

Figura 65. Análisis canónico de correspondencias (CCA) para las comunidades bentónicas (muestreo AV realizado con beam trawl). La ordenación de los lances y las variables ambientales utilizadas fueron la profundidad (Depth), el BPI grueso (bpi_broad), la salinidad (Sal), el contenido en materia orgánica (OM), mediana del tamaño de grano (Q50_phi) y el coeficiente de clasificación (So) expresado como distancia intercuartílica de la distribución granulométrica. La variable categórica tipo de fondo se definió com arenas finas (FS) y arenas muy finas (VFS). Los conjuntos de estaciones de muestreo se indican con puntos de colores: amarillo (US: plataforma superior), turquesa (SB: ruptura de plataforma), verde (USL: talud superior), marrón (UMSL: talud medio superior), o naranja: (LMSL: talud medio inferior). (Modica et al., 2022). 167

Figura 66. Distribución de los distintos grupos del clúster según la técnica de clasificación no supervisada *k-means*. Grupo A (azul): circalitoral con bloques sueltos y sedimento; grupo B (verde): batial con bloques sueltos y sedimento; grupo C (naranja claro): circalitoral con sedimento; grupo D (naranja): circalitoral rocoso con alta cobertura sedimentaria; y grupo E (rojo): roca viva circalitoral. (Rodríguez-Basalo et al., 2022). 169

Figura 67. Dendrograma que representa la agrupación jerárquica de las estaciones según la densidad de especies formadoras de hábitats, y distribución de las muestras de acuerdo con las variables ambientales seleccionadas para el análisis canónico de correspondencias (CCA, figura inferior). (Rodríguez-Basalo et al., 2022) 171

Figura 68. Distribución espacial de los principales hábitats identificados en el SCA (Sánchez et al., 2022) 172

Figura 69. El mapa superior muestra la distribución del Hábitat 1170 Arrecifes de la clasificación del Anexo de lal Directiva Hábitats en el sistema de cañones de Avilés. El mapa inferior muestra la distribución de los hábitats bentónicos de la clasificación OSPAR en la misma área (Sánchez et al., 2022).....174

Figura 70. Demarcaciones marinas en España. Fuente de información: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....186

Figura 71. Proceso de elaboración de los POEM en España. Fuente de información: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....194

Figura 72. Objetivos OEM en España. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....197

Figura 73. Aplicación de los objetivos internacionales y comunitarios para los POEM en España. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....197

Figura 74. Información espacial de los POEM. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....199

Figura 75. Interacciones Tierra a Mar y Mar a Tierra incluidas en los POEM. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....201

Figura 76. Situaciones de los POEM en relación a los Espacios Marinos Protegidos. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....203

Figura 77. Proyectos OEM transfronteriza en los que España ha sido partícipe. Nota: los límites no se corresponden con el 100 % del área de estudio de cada proyecto, muestran las zonas aproximadas de aplicación de los mismos. Fuente: Información de los proyectos europeos donde el Instituto Español de Oceanografía ha sido socio. Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....205

Figura 78. Beneficios de los proyectos transfronterizos en el proceso nacional OEM. Fuente: Jay & Gee, 2014; U, 2017. Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.....211

Figure 79. SIMNORAT project area (Giret et al, 2019). 226

Figure 80. The MSP process diagram defined in the context of SIMNORAT project, after reviewing the ones seven different steps of MSP, and the actions carried out. 231

Figure 81. Spatial incidence of MSFD and WFD (Cumming et al., 2006). 234

Figure 82. Data distribution by category. 240

Figure 83. (A) Data format distribution by area and format. (B) Data distribution by category and by geographic level. The North Atlantic category contains data covering all or part of the study area and may concern more than one country. 241

Figure 84. Overview of the four main steps of analysis. A: activity, P: pressure, E: Ecosystem component (marine mammal or seabird). 248

Figure 85. Intensity of multi-pressures that can interact with great grey gulls (simulation with Spanish and French datasets). 249

Figure 86. Case study scale considered. 250

Figure 87. Governance framework of environmental conservation and MSP (Spain/ Portugal). 251

Figura 88. Principios del enfoque basado en el ecosistema (EBA) y su relación con la Planificación Espacial Marina (PEM), e importancia de disponer de la mejor información y datos científicos. 273

LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Campañas oceanográficas realizadas en la zona de estudio. Metodologías de muestreo empleadas en la presente tesis: EM: ecosonda multihaz, TP: sonda paramétrica TOPAS, DF: draga de fango, DR: draga de roca, ROVT: vehículo remolcado de operación remota, ROV: vehículo operado remotamente, LA: plataforma multipropósito *lander*. 47

Tabla 2. Equivalencias entre tamaño de partículas (μm) determinadas por difracción láser y tamices usada en este estudio para la transformación de tamaños de grano. 48

Tabla 3. Proyectos realizados para la implementación de la Directiva marco para la Ordenación del Espacio Marítimo en áreas transfronterizas, tanto en la cuenca Atlántica como en la Mediterránea. 53

Table 4. Toponymy in the study area (Avilés Canyon System). 66

Table 5. Sedimentary and rocky morphologies. 71

Table 6. Main morphometric characteristics of canyons and branches studied. 78

Table 7. Toponymy in the study area (Capbreton Canyon System). 105

Table 8. Summary of the parameters characterizing the physiographic provinces of the Capbreton canyon margin system area, obtained from swath bathymetry dataset (see Figure 45 for the location and extension of each physiographic unit). 109

Tabla 9. Resumen de las correspondencias y los vínculos entre algunos hábitat 1170 y los niveles EUNIS y la lista OSPAR de especies y hábitats amenazados o en declive y el Anexo I de la DH. 145

Tabla 10. Tabla con cobertura superficial de clases de hábitat y resultados estadísticos (desviación estándar y distancia mínima iterativa (IMD) del análisis ISOCLUSTER para cada una de las variables anteriores. H) Porcentaje de cobertura de facies (a partir de la verificación del terreno) de la clasificación de los hábitats obtenidos con el análisis ISOCLUSTER. Las facies de hábitats sedimentarios (clases C y G) no son realistas (valores en cursiva). (Sánchez et al., 2017). 153

Tabla 11. Muestreos realizados durante el Proyecto INDEMARES en el área del sistema de cañones submarinos de Avilés. 156

Tabla 12. Resultados del análisis CCA para determinar variables ambientales significativas para la comunidad epibentónica (muestreos de *beam trawl*). CCA1: Contribución de las variables ambientales para el primer eje restringido. CCA2: Contribución de las variables ambientales para el segundo eje restringido. r^2: correlación entre las variables ambientales y el sistema de ordenación seleccionado por CCA. Pr (>r): valor p para cada variable con la distribución global de las especies. Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1. (Modica et al., 2022). 167

Tabla 13. Contribución de la desviación de los predictores a los modelos de presencia/ausencia y densidad de ambas zonas y desviación total explicada por los modelos completos. La ausencia de datos significa que la variable no ha sido seleccionada para el modelo completo. (Rodríguez-Basalo et al., 2022). 170

Tabla 14. Pasarelas entre los hábitats bentónicos de interés comunitario identificados en el LIC SCA y las principales clasificaciones europeas. 173

Tabla 15. Entidades de la Administración General del Estado involucradas en el proceso nacional OEM en España. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). 191

Tabla 16. Aspectos horizontales de interés general cuyos objetivos son prioritarios por emanar de políticas públicas orientadas a la protección del patrimonio común, la seguridad y la salud. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía. 196

Tabla 17. Sectores contemplados para el establecimiento de los objetivos de ordenación del espacio marítimo. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía. 196

Tabla 18. Objetivos y resultados de los proyectos transfronterizos en el proceso OEM en España. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía. 209

Table 19. SIMNORAT Action plan. 242

Table 20. Sector of activities taken into account. 246

RESUMEN

La presente tesis doctoral recoge los resultados de un ambicioso trabajo de investigación que integra diferentes disciplinas de las ciencias marinas para generar el conocimiento científico necesario para la declaración de nuevos espacios marinos protegidos. Por ello, este trabajo se estructura en dos partes fundamentales, por un lado el estudio geológico de los fondos marinos de dos sistemas de cañones submarinos profundos, a partir de una aproximación holística de estudio y empleando diferentes técnicas de muestreo; y posteriormente demostrando cómo la integración multidisciplinar de los datos geológicos y datos biológicos es la base para la cartografía de los hábitats asociados al fondo marino, y factor condicionante para su presencia y distribución. En la segunda parte del trabajo se analiza el empleo de los resultados obtenidos como aplicación para diversos aspectos de la gestión marina, en particular, la declaración de espacios marinos protegidos y su conservación a través de la ordenación del espacio marítimo.

El ámbito geográfico de la investigación son los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton (mar Cantábrico), con profundidades que abarcan desde los 100 a los más de 4800 metros. A partir del análisis y el estudio de información de diferente naturaleza, se ha realizado la caracterización geomorfológica de ambos sistemas. Los datos empleados en el estudio geomorfológico y en la interpretación de un amplio abanico de procesos geológicos fueron adquiridos en varias campañas oceanográficas de investigación empleando técnicas de última generación como las ecosondas multihaz, que proporcionan la batimetría del fondo y la sísmica de reflexión continua de muy alta resolución, para el estudio de las primeras capas del subsuelo marino.

Además, se han integrado datos sedimentológicos de muestras adquiridas con dragas e imágenes del fondo obtenidas con vehículos submarinos. Con los datos batimétricos se ha elaborado una completa cartografía de ambos sistemas de cañones submarinos, identificando las distintas provincias fisiográficas que lo constituyen y que, junto con el estudio de perfiles de sísmica de reflexión de alta resolución, el análisis de las muestras de sedimento y de las imágenes del fondo, han permitido obtener una exhaustiva caracterización morfosedimentaria del lecho marino. Gracias a la utilización de sistemas de visualización avanzados y al empleo de un Sistema de Información Geográfica se han podido cuantificar las características de las unidades y elementos morfológicos, y obtener las capas derivadas como la pendiente, rugosidad, tipos de sustrato, etc. Se han caracterizado en detalle los sistemas de caño-

nes tributarios, las plataformas intertributarias, entre las que destacan la caracterización en detalle por primera vez de los extensos campos de *pockmarks* en la zona del Capbreton, afloramientos rocosos de plataforma o paredes de cañones fuertemente escarpadas. Estas estructuras geológicas, por sus características ambientales, serían susceptibles de albergar hábitats o especies protegidas según los criterios de la Directiva Hábitats y la Directiva Aves de la Unión Europea y pasar a formar parte de la Red Natura 2000.

Este trabajo pone de manifiesto que el estudio detallado de la geomorfología de los fondos marinos, junto con la identificación de las principales comunidades biológicas que habitan en los fondos, resulta esencial para la caracterización de estos hábitats y su posterior protección. Solo a partir de esta combinación de análisis geológicos y biológicos se pueden realizar los modelos predictivos de distribución de hábitats, requeridos para la declaración de los espacios marinos protegidos. Esto demuestra que los estudios geológicos son necesarios para diseñar una red coherente de áreas o espacios marinos protegidos. La conservación de estos espacios solo se puede llevar a cabo a través de unos planes de gestión sostenibles basados en la aproximación ecosistémica. Sin embargo, los ecosistemas están sometidos a presiones e impactos derivados de las actividades antropogénicas, ya que dan soporte a un conjunto de usos y actividades que nos proveen de los bienes y servicios necesarios para el bienestar de la sociedad. Algunos de estos usos y actividades que requieren de una utilización del espacio marítimo, ya sea de manera temporal o permanente, contribuyen al desarrollo económico y social de los países ribereños. La ordenación del espacio marítimo es el instrumento que facilita el desarrollo sostenible de la economía azul**,** favoreciendo su componente económica, social y ambiental.

En esta tesis se analizan las diferentes fases de estos procesos de ordenación para abordar la gestión y gobernanza de nuestros océanos considerando tanto los cambios naturales como las presiones antropogénicas, que es un reto de la sociedad actual y de sus gobernantes. Desde luego, este reto no podría ser afrontado sin una base de conocimiento científico sobre el funcionamiento de unos sistemas dinámicos y globales como los océanos y sus ecosistemas. Por ello, la generación de nuevo conocimiento científico es fundamental para establecer las bases que ayuden a la toma de decisiones y la gestión sostenible del mar y sus recursos. La presente tesis, cuyos resultados han sido aplicados para la declaración de nuevos espacios marinos protegidos dentro de la RN2000 y el proceso nacional de ordenación del espacio marítimo, demuestra los beneficios de la ciencia aplicada a la gestión de los océanos acorde a las políticas actuales y que garanticen los bienes sociales teniendo en cuenta los aspectos ambientales y socioeconómicos.

ABSTRACT

This doctoral thesis collects the results of an ambitious research work that integrates different disciplines of marine sciences to generate the scientific knowledge necessary for the declaration of new protected marine spaces. Therefore, this work is structured in two fundamental parts, on the one hand the geological study of the seabed of two deep submarine canyon systems, based on a holistic study approach and using different sampling techniques; and subsequently demonstrating how the multidisciplinary integration of geological data and biological data is the basis for the mapping of habitats associated with the seabed, and a conditioning factor for their presence and distribution. The second part of the work analyzes the use of the results obtained as an application for various aspects of marine management, in particular, the declaration of protected marine spaces and their conservation through the planning of maritime space.

The geographical scope of the research is the Avilés and Capbreton submarine canyon systems (Cantabrian Sea), covering depths from 100 to more than 4800 meters. The geomorphological characterization of both systems has been carried out based on the analysis and study of information of a different nature. The data used in the geomorphological study and in the interpretation of a wide range of geological processes were acquired in several oceanographic research campaigns using state-of-the-art techniques, such as multibeam echo sounders that provide bottom bathymetry and continuous reflection seismic, very high resolution, for the study of the first layers of the marine subsoil.

In addition, sedimentological data from samples acquired with dredgers and bottom images obtained with underwater vehicles have been integrated. With the bathymetric data, a complete cartography of both submarine canyon systems has been prepared, identifying the different physiographic provinces that constitute them, which together with the study of high-resolution seismic reflection profiles, the analysis of sediment samples and the images of the bottom have allowed us to obtain an exhaustive morphosedimentary characterization of the seabed. Thanks to the use of advanced visualization systems and the use of a Geographic Information System, they have been able to quantify the characteristics of the morphological units and elements and obtain the derived layers such as slope, roughness, types of substrate, etc. The tributary canyon systems and intertributary platforms have been characterized in detail, among which the detailed characterization for the first time of the extensive pockmarks fields in the Capbreton area, platform rock outcrops or

strongly escaping canyon walls stand out. These geological structures, due to their environmental characteristics, would be susceptible to hosting habitats or species protected according to the criteria of the Habitats and Birds Directives of the European Union and would become part of the Natura 2000 Network.

This work shows how the detailed study of the geomorphology of the seabed, together with the identification of the main biological communities that inhabit the seabed, has been essential for the characterization of these habitats and their subsequent protection. Only from this combination of geological and biological analyzes can predictive models of habitat distribution be made, required for the declaration of protected marine spaces. This shows that geological studies are necessary to design a coherent network of protected marine areas or spaces. The conservation of these spaces can only be carried out through sustainable management plans based on the ecosystem approach. However, ecosystems are subject to pressures and impacts derived from anthropogenic activities, since they support a set of uses and activities that provide us with goods and services necessary for the well-being of society. Some of these uses and activities that require the use of maritime space, whether temporarily or permanently, contribute to the economic and social development of coastal countries. The planning of maritime space is the instrument that facilitates the sustainable development of the blue economy, favoring its economic, social and environmental component.

This thesis analyzes the different phases of these planning processes to address the management and governance of our oceans, considering both natural changes and anthropogenic pressures, which is a challenge for today's society and its rulers. Of course, this challenge could not be faced without a base of scientific knowledge about the functioning of dynamic and global systems such as the oceans and their ecosystems. Therefore, the generation of new scientific knowledge is essential to establish the foundations that help decision-making and sustainable management of the sea and its resources. This thesis, whose results have been applied in the creation of the RN2000 and the national process of maritime spatial planning, demonstrates the benefits of science applied to ocean management in accordance with current policies and that guarantee social goods while taking into account environmental and socioeconomic aspects.

Todo parece imposible hasta que se hace.
NELSON MANDELA

Qué inapropiado llamar a este planeta Tierra,
cuando claramente es Océano.
ARTHUR C. CLARKE



CAPÍTULO 1

Introducción

Buque oceanográfico del IEO Angeles Alvariño (Foto: DC Servicios Ambientales)

INTRODUCCIÓN

Los océanos son una de las principales reservas de biodiversidad en el mundo, y esa biodiversidad resulta esencial para la salud del planeta. Al mismo tiempo, la biodiversidad y los ecosistemas marinos están intrínsecamente vinculados a una amplia gama de servicios fundamentales para el desarrollo sostenible y para el bienestar social. La provisión de los bienes y servicios ecosistémicos es necesaria como importante fuente de alimento, o regulador del clima, pero además, los ecosistemas marinos sostienen importantes actividades económicas como el turismo, la energía o el transporte. La salud y el bienestar humanos, en particular el desarrollo económico sostenible y equitativo, dependen también de la salud y el bienestar de los océanos y de las áreas costeras del mundo.

Una gran parte de la comunidad científica ha propuesto el Antropoceno como la época geológica actual del periodo Cuaternario por considerar que hay evidencias suficientes en el registro geológico de la influencia del comportamiento humano sobre la Tierra en los últimos siglos. Esta influencia es significativa debido al impacto global que las actividades humanas han tenido y tienen sobre los ecosistemas terrestres (Steffen et al, 2011; Steffen, 2021). Y puesto que el mar sostiene una actividad económica asociada cada vez más importante, que va desde el transporte marítimo, la pesca y el turismo hasta la producción de energías renovables o la extracción de materiales de los fondos marinos, con un inmenso potencial socioeconómico, es de suma importancia gestionar sus recursos de manera eficiente. El desarrollo económico sostenible de los mares y océanos es lo que se conoce como «economía azul» (Figura 1):



Figura 1. Economía azul sostenible: principios, desafíos, oportunidades y sectores. (IOC-Unesco & EC, 2020a).

> Entendemos por una economía sostenible del océano aquella en la que una actividad económica se desarrolla de forma equilibrada en relación a la capacidad a largo término de los ecosistemas para soportarla, sin repercusiones sobre su resiliencia y salud. Esencialmente, el concepto de economía azul sería el marco que permita visualizar y desarrolle acciones estratégicas que mejore a la vez, tanto la salud del océano, como el crecimiento económico, de conformidad con los principios de equidad e inclusión sociales. (Patil et al, 2016).

El valor de la economía azul ha aumentado en las últimas décadas y actualmente los océanos representarían la octava economía a nivel mundial (González-Quirós, 2021). Según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OECD, por sus siglas en inglés), la economía azul habrá duplicado su volumen entre 2010 y 2030 (OECD, 2018).

Destaca también el impacto positivo que ha tenido en la economía española y en las tasas de empleo, ya que la participación del valor agregado bruto (VAB) azul y el empleo han crecido desde 2009 a un ritmo más rápido que la tendencia nacional general, aumentando en más de un 3 % en 2018 (Figura 2) según el informe sobre economía azul de la Comisión Europea (European Commission [EC], 2021a).

España — Evolución de los sectores de la Economía Azul

Personas empleadas (mil)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Recursos marinos vivos	134.9	134.4	126.8	119.5	115.3	114.6	114.0	113.8	116.5	115.9
Recursos marinos no vivos	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Energía marina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Actividades portuarias	51.8	45.5	43.2	40.2	38.0	37.5	38.9	37.3	39.7	41.7
Construcción naval	28.5	25.6	24.3	23.6	21.0	21.5	22.7	23.8	24.9	26.5
Transporte marítimo	13.0	12.7	12.4	12.2	12.0	11.8	12.1	12.7	13.2	14.4
Turismo costero	660.3	602.4	575.9	528.9	555.4	523.4	539.6	597.1	629.9	729.7
Empleos Economía Azul	888.6	820.7	782.7	724.5	741.9	708.9	727.4	784.8	824.3	928.4
Empleo nacional	18,957	18,574	18,271	17,477	17,002	17,211	17,717	18,183	18,649	19,136
Economía Azul (% empleo)	4.7%	4.4%	4.3%	4.1%	4.4%	4.1%	4.1%	4.3%	4.4%	4.9%

VAB (millones €)	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018
Recursos marinos vivos	3,088	3,125	3,207	2,930	3,063	3,332	3,239	3,501	3,678	3,650
Recursos marinos no vivos	10	13	13	18	40	27	14	14	14	10
Energía marina	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Actividades portuarias	3,596	3,428	3,346	3,236	3,015	2,990	3,116	3,060	3,278	3,518
Construcción naval	1,253	1,468	1,182	1,159	862	1,135	945	884	830	1,043
Transporte marítimo	783	826	728	744	727	757	872	949	978	930
Turismo costero	18,370	16,971	16,510	14,855	16,065	15,506	17,037	18,537	20,263	23,940
VAB Economía Azul	27,100	25,832	24,986	22,941	23,772	23,745	25,224	26,944	29,040	33,092
VAB nacional	1,002,045	985,479	980,239	948,339	932,448	939,949	978,469	1,010,688	1,053,191	1,087,968
Economía Azul (% VAB nacional)	2.7%	2.6%	2.5%	2.4%	2.5%	2.5%	2.6%	2.7%	2.8%	3.0%

Figura 2. Evolución de los sectores de la economía azul en España desde 2009 hasta 2018 (EC, 2021b).

Por su parte, la economía azul española está dominada por el turismo costero, el sector de los recursos vivos marinos y las actividades portuarias, que siguen siendo contribuyentes vitales para la economía española; de hecho, según el citado informe, en la UE, España ocupa el primer lugar en términos de VAB para el turismo costero y los recursos vivos marinos, que generan el 30 % y el 19 % del total de la UE, respectivamente. La economía azul española es la cuarta de la eurozona Figura 3) y nuestro país es el segundo destino turístico del mundo (EC, 2021a). Desde el punto de vista geográfico, España está dividida en dos cuencas marítimas, el Atlántico Norte y el Mediterráneo, y es el mayor productor de pesca de captura de la UE (en desembarcos, peso y valor). El país recibe el 80 % de sus importaciones y envía más del 50 % de sus exportaciones a través de los puertos marítimos, y cuenta con la tercera flota pesquera más grande del mundo, lo que significa que los puertos desempeñan un importante papel en la prosperidad nacional.

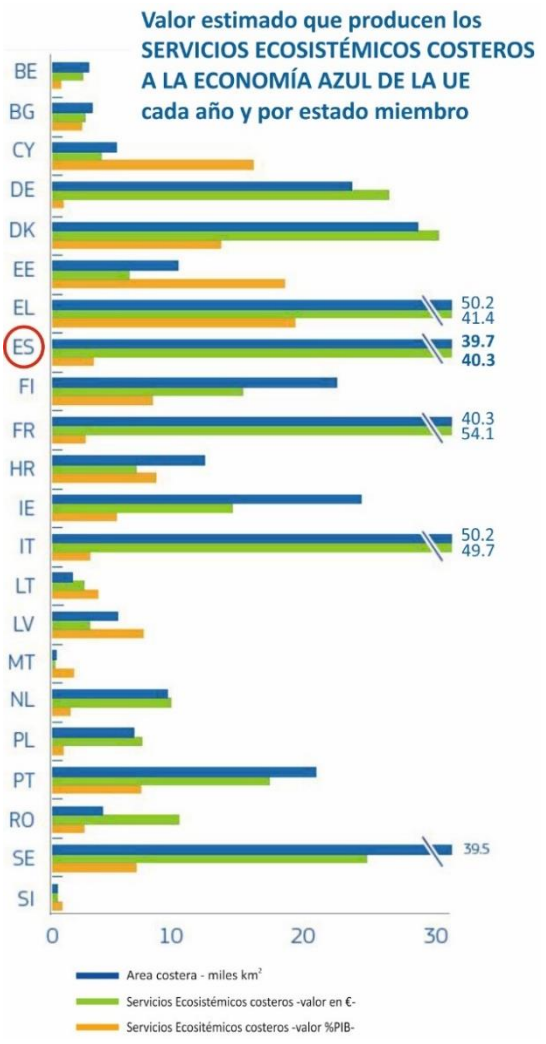


Figura 3. Valor de los servicios ecosistémicos en la economía azul europea.

Jouffray et al. (2020) confirmaron, tras llevar a cabo un análisis de las tendencias globales de las últimas décadas (Figura 4a), que en los últimos 50 años se ha producido la llamada *aceleración azul*, con un fuerte incremento que caracteriza el inicio del siglo XXI y que está intensificando la presión sobre los océanos (Figura 4b). La economía azul integra una creciente diversidad e importancia de los sectores marítimos (Figura 1) (EC, 2020), pero a su vez está ejerciendo un impacto cada vez mayor sobre los océanos, provocando pérdidas de biodiversidad y degradando el funcionamiento de los ecosistemas. Esto afecta, por tanto, a la sostenibilidad de los bienes y servicios que nos proveen los océanos, con algunos efectos posiblemente ya irreversibles (González-Quirós, 2021). Las actividades humanas, aunque ofrezcan oportunidades de crecimiento socioeconómico, plantean

también riesgos y, si siguen aumentando las presiones naturales y antropogénicas sobre los océanos, la continuidad de la prestación de los servicios se verá gravemente amenazada por el deterioro del funcionamiento de los ecosistemas.

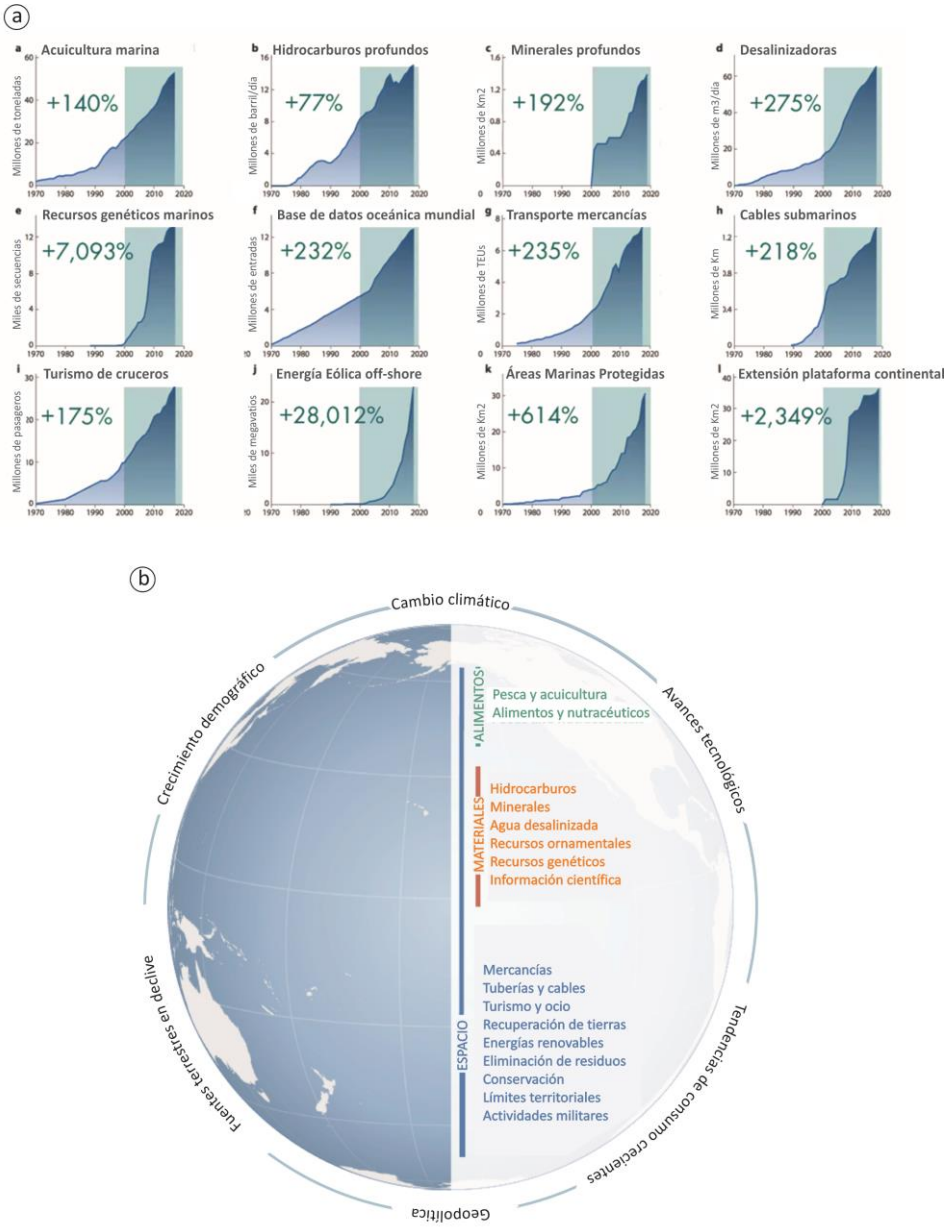


Figura 4. a) Valores de la aceleración azul en las últimas décadas, en los que destaca el incremento desde el año 2000. b) El océano se considera cada vez más un motor de las necesidades humanas presentes y futuras de alimentos, materiales y espacio, y las demandas están clasificadas de acuerdo a los usos del océano de importancia directa para la sostenibilidad del ecosistema, el bienestar humano y el crecimiento económico; en la circunferencia externa se han identificado algunos de los principales impulsores distales que dan forma a este nuevo contexto oceánico mundial. Modificado de Jouffray et al. (2020).

Presiones como la contaminación, la proliferación de especies invasoras, las basuras, el transporte marítimo, el ruido submarino, la acuicultura, la minería del mar profundo, la pesca o el cambio climático pueden afectar negativamente a los océanos y sus ecosistemas, así como al medio ambiente en general, con lo que se produce, entre otros impactos, la pérdida de biodiversidad.

El conocimiento sobre el funcionamiento de los ecosistemas y la comprensión del efecto de estas presiones y sus impactos sobre los mismos nos proporcionará evidencias y el entendimiento necesario para un correcto asesoramiento sobre la conservación y preservación de la biodiversidad marina. Este conocimiento científico es la base fundamental para garantizar la sostenibilidad de los servicios ecosistémicos (Costanza et al., 1997; Borja, 2009; Duarte et al., 2020) a través de una explotación de los recursos que asegure un desarrollo sostenible con el medio marino y el crecimiento de una economía azul, siempre bajo la perspectiva del enfoque ecosistémico para la protección del medio marino. La gestión desde este enfoque se basa en una comprensión de la estructura, la función y la dinámica de los ecosistemas marinos, y de sus interacciones con el medio hídrico, químico, biológico y geológico, que solo puede lograrse a través de la ciencia. A medida que esta comprensión avanza y evoluciona, también lo hace nuestra capacidad de informar y asesorar sobre el estado del medio marino, al evaluar, describir y gestionar las interacciones humanas con el mar.

TRANSFERENCIA DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO EN LA GOBERNANZA DE LOS OCÉANOS

Abordar la gestión y gobernanza de nuestros océanos, considerando tanto los cambios naturales como las presiones antropogénicas, es un reto de la sociedad actual y de sus gobernantes. Desde luego, este reto no podría ser afrontado sin una base de conocimiento científico sobre el funcionamiento de unos sistemas dinámicos y globales como son los océanos y sus ecosistemas. Por ello, la generación de nuevo conocimiento científico es fundamental para establecer las bases que ayuden a la toma de decisiones y gestión sostenible del mar y sus recursos, para garantizar el bienestar humano ante un océano que afronta múltiples amenazas. No se puede proteger lo que no se conoce.

La transferencia de conocimiento científico a la toma de decisiones políticas y su divulgación contribuyen a la mejora de la sociedad a través de la ciencia aplicada, y permiten fomentar el necesario cambio de comportamiento social. En concreto, en el ámbito oceánico, en el que la sociedad mantiene una dependencia del mar, se debería facilitar un cambio de paradigma en la manera en que se desarrollan y se ponen a disposición los conocimientos científicos, para alcanzar soluciones que

contribuyan al bienestar de la sociedad y de los océanos. Por ello, los retos a los que se enfrenta la humanidad en su relación con el mar solo pueden ser abordados desde el conocimiento que proporciona la ciencia cuando este se proyecta sobre la sociedad, y aplicado a la adopción de decisiones y la implementación de políticas que permitan una economía oceánica sostenible.

Las ciencias marinas se basan en observaciones y estudios de las propiedades físicas, químicas biológicas y geológicas del medio ambiente y los ecosistemas, que permiten aumentar el conocimiento necesario y constituyen cimientos fundamentales para el adecuado asesoramiento; por ello, la investigación es de suma importancia para realizar ciencia básica a través de la vigilancia y los sistemas de observación del océano. Estos estudios proporcionan la información necesaria para evaluar la situación actual de los océanos, incluidas las perspectivas de todos los sectores y, en particular, de los más extractivos, como la pesca o la minería submarina, y su interacción con los ecosistemas, así como información sobre la efectividad de las medidas de conservación y ordenación del territorio. La investigación del medio marino también proporciona información esencial sobre la distribución de los recursos biológicos y geológicos para su uso y protección, y es la mejor garantía para mantener un asesoramiento científico de calidad que asegure la sostenibilidad a largo plazo de los bienes y servicios de un océano que afronta múltiples amenazas y que resulta fundamental para el bienestar humano.

Toda esta situación del papel clave de los océanos en el presente y el futuro de la humanidad, de las oportunidades y de las amenazas, se ha visto reflejada en la inclusión en la Agenda 2030 de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) de un objetivo de desarrollo sostenible (ODS) dedicado exclusivamente a los océanos. El ODS 14, «Vida submarina», engloba una serie de metas (Figura 5) para lograr su cumplimiento entre las que destaca la meta 14.A: «Aumentar el conocimiento científico, la investigación y la tecnología para la salud». La protección de nuestros mares y ecosistemas marinos es de suma importancia y concienciar a la sociedad sobre ello es fundamental. La ONU, ha proclamado el periodo 2021-2030 como el Decenio de las Ciencias Oceánicas para el Desarrollo Sostenible, bajo el lema «la ciencia que necesitamos para el océano que queremos» (United Nations [UN], 2017). Esta llamada de la ONU para el compromiso con la investigación e innovación marina de actores sociales más allá de la comunidad científica pretende impulsar soluciones transformadoras de ciencias oceánicas para el desarrollo sostenible, conectando a las personas con nuestro océano. Asimismo, reconoce el importante papel del mar en el bienestar de la humanidad, y no solo porque sostiene importantes actividades económicas, sino por otros valores y servicios que incluyen el cultural, el espiritual, la biodiversidad o la regulación del clima. Es obvio,

pues, que la larga tradición de relación entre el ser humano y el mar amenaza el frágil equilibrio de nuestros ecosistemas marinos, debido a los efectos de la actividad antropogénica, y que el uso sostenible de los mares requiere de medidas de gestión urgentes que contemplen la explotación de los recursos junto a la conservación de los hábitats y la biodiversidad marina.

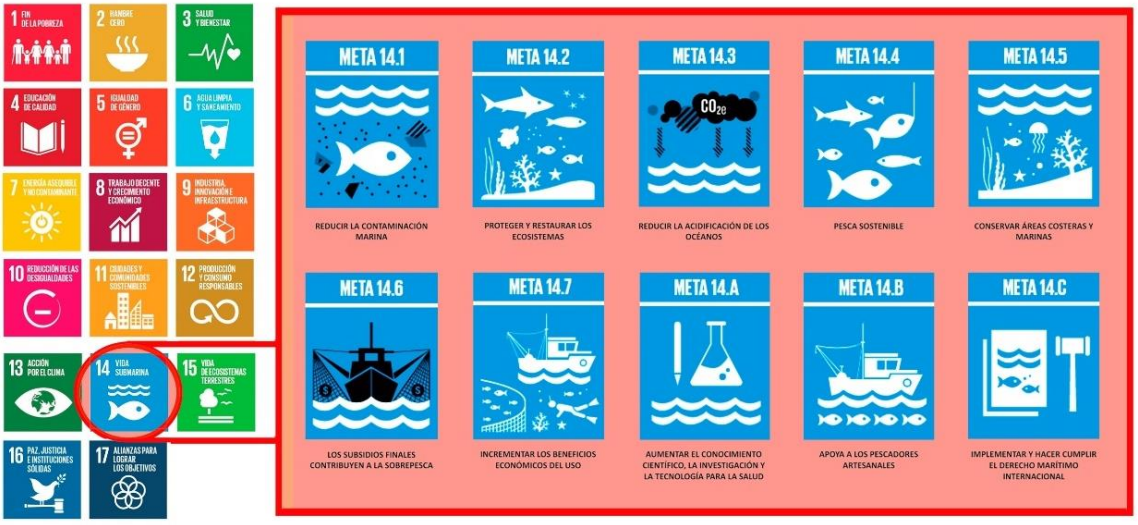


Figura 5. Objetivos de desarrollo sostenible de la Agenda 2030 y metas del objetivo 14 «Vida submarina». Modificado de IOC-Unesco & EC (2020b).

MARCO NORMATIVO PARA LA PROTECCIÓN Y CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD MARINA

Con el fin de lograr las metas descritas anteriormente para el ámbito marino, a nivel de la Unión Europea (UE), el Parlamento Europeo ha aprobado en las últimas décadas diferentes directivas de obligado cumplimiento por los Estados miembros en virtud de alcanzar el buen estado ambiental (BEA) de nuestros océanos y lograr un desarrollo social y económico compatible con la protección de los ecosistemas marinos, prestando atención a los impactos humanos sobre el océano y sus ecosistemas.

La Directiva 92/43/CEE (European Union [EU], 1992), conocida como Directiva Hábitats (DH), y la Directiva 2009/147/CE (EU, 2009), conocida como Directiva Aves (DA), forman el eje fundamental de la política de conservación de la biodiversidad de la UE. La DH, adoptada en 1992, tiene como objetivo la protección de los tipos de hábitat naturales y de las poblaciones de las especies silvestres (exceptuando las aves) de la UE mediante el establecimiento de una red ecológica y un régimen jurídico de protección. Identifica más de 200 tipos de hábitats y más de 900 especies de interés comunitario, y establece la necesidad de conservarlos, para lo cual obliga a que se

adopten medidas para mantenerlos o restaurarlos en un estado favorable. En su artículo 3, establece la creación de una red ecológica europea coherente de zonas de especial conservación (ZEC) que, junto a las existentes zonas de especial protección para las aves (ZEPA), conforma la denominada Red Natura 2000 (RN2000). Antes de convertirse en ZEC, un espacio protegido es declarado lugar de importancia comunitaria (LIC) para, posteriormente, ser declarado ZEC una vez aprobado su plan de gestión. La RN2000, compuesta por los lugares que alberguen tipos de hábitats naturales que figuran en el Anexo I de esta Directiva y de hábitats de especies que figuran en el Anexo II de la misma, deberá garantizar el mantenimiento o, en su caso, el restablecimiento, en un estado de conservación favorable, de los tipos de hábitats naturales y de las especies de que se trate en su área de distribución natural. La Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE, 2007) incorpora al ordenamiento jurídico español ambas directivas (DH y DA) y recoge las disposiciones legales básicas de ámbito estatal que regulan el establecimiento y la gestión de la RN2000 en España.

Por otro lado, la Directiva 2008/56/CE (EU, 2008) o Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM) establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino que pretende conseguir el BEA de los mares europeos. Sus objetivos son proteger y preservar el medio marino, incluyendo su biodiversidad; evitar su deterioro, recuperar los ecosistemas marinos en las zonas que se hayan visto afectados negativamente, prevenir y reducir los vertidos al medio marino; velar por que no se produzcan impactos o riesgos graves para la biodiversidad marina, los ecosistemas marinos, la salud humana o los usos permitidos del mar; y garantizar que las actividades y usos en el medio marino sean compatibles con la preservación de su biodiversidad. En España, la transposición de esta directiva se ha llevado a cabo a través de la Ley 41/2010, de Protección del Medio Marino (BOE, 2010). Esta ley es de aplicación a las aguas, el lecho marino y el subsuelo situados más allá de la línea de base que sirve para medir la anchura de las aguas territoriales y que se extienden hasta el límite exterior de la zona económica exclusiva (ZEE) de España; además, incluye la Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE) para mantener la coherencia ecológica de la RN2000 y la regulación de los vertidos en el mar.

La Directiva 2014/89/UE (EU, 2014) de Planificación Espacial Marina (PEM o MSP, por sus siglas en inglés), en adelante DOEM, por la que se establece un marco para la Ordenación del Espacio Marítimo (OEM), pretende garantizar la coherencia y sostenibilidad de los diferentes usos del océano desde unos objetivos diseñados en tres ejes: ambientales, económicos y sociales. Esta norma se traspuso al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 363/2017, de 8 de abril (BOE, 2017), que

fomenta el crecimiento sostenible de las economías marítimas, el desarrollo sostenible de los espacios marinos y el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos, y también indica que hay que tener en cuenta las interacciones entre tierra y mar y mejorar la cooperación transfronteriza. La herramienta para ello son los planes de ordenación del espacio marítimo (POEM), donde deben integrarse las decisiones de planificación para lograr unos ecosistemas marinos saludables sostenibles con los múltiples servicios que prestan. Los POEM pueden generar importantes beneficios en lo que atañe a la producción de alimentos, las actividades de turismo y ocio, y la mitigación y adaptación al cambio climático, incluyendo la producción de energías renovables marinas, la protección del patrimonio cultural marino, el desarrollo de otros sectores marítimos y el bienestar de la sociedad en general. Los principales usos y actividades desarrollados en el medio marino son numerosos: la acuicultura y la pesca; la explotación y extracción de petróleo, gas y otros recursos energéticos, la producción de energía procedente de fuentes renovables, los minerales y áridos; el transporte marítimo, los tendidos de cables y de tuberías submarinos, las zonas de entrenamiento militar, la investigación científica, el turismo, los lugares de conservación de la naturaleza y de las especies y las zonas protegidas, el patrimonio cultural submarino, etc. La PEM u OEM es un proceso público para analizar y asignar la distribución espacial y temporal de todas estas actividades humanas en zonas marinas con el fin de alcanzar objetivos planteados en los tres ejes y que normalmente se especifica por medio de un proceso político (IOC-Unesco, 2017).

Un proceso PEM debe permitir equilibrar metas y objetivos ecológicos, económicos y sociales en aras de un desarrollo sostenible, así como su integración a través de sectores y agencias, y entre diferentes niveles de gobierno, mediante un modelo adaptativo y un enfoque estratégico orientado en el largo plazo y con carácter participativo de los actores involucrados a lo largo de todo el proceso. Esto solo se puede lograr si el proceso está basado en un enfoque o gestión ecosistémica, entendiendo como tal «la gestión integrada comprensiva de las actividades humanas, basada en el mejor conocimiento científico disponible sobre los ecosistemas y su dinámica, con objeto de identificar y actuar sobre las influencias críticas para la salud de los ecosistemas marinos, alcanzando de este modo un uso sostenible de sus bienes y servicios y un mantenimiento de la integridad de los ecosistemas» (Borja, 2009). La PEM no solo contribuye a alcanzar las metas 14.2, 14.5, 14.7 y 14. A del ODS 14 (Figura 5), sino que también contribuye al logro del resto de ODS (Figura 6) y a la economía azul, ya que esta requiere la ejecución, el seguimiento y la evaluación de la gestión a través de indicadores para cada uno de los objetivos ecológicos, económicos y sociales (IOC-Unesco & EC, 2020a).

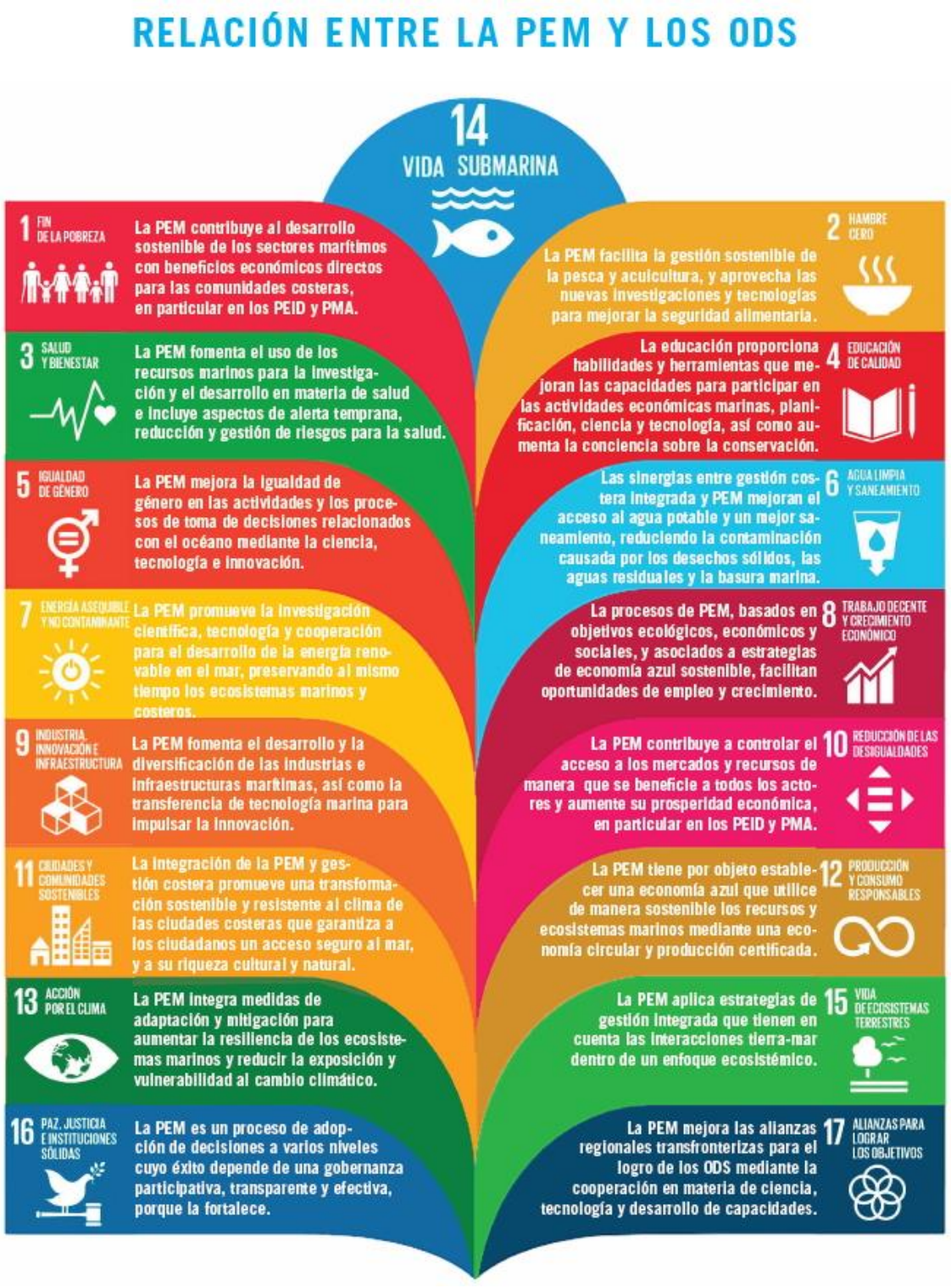


Figura 6. Relación entre la planificación espacial marina (PEM) y los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) de la Agenda 2030 (IOC-Unesco & EC, 2020b).

La DH (EU, 1992) define los hábitats naturales como «zonas terrestres o acuáticas diferenciadas por sus características geográficas, abióticas y bióticas, tanto si son enteramente naturales como seminaturales». Es fundamental proteger la conservación de la biodiversidad y de las complejas interacciones ecológicas de los ecosistemas naturales para garantizar el mantenimiento de los servicios ecosistémicos. Por ello, se ha de considerar el ecosistema en todo su conjunto de variables medioambientales, teniendo en cuenta factores abióticos, como la geología, la oceanografía física y química; bióticos, como los diferentes tipos de hábitat y las especies que los conforman; y factores antropogénicos, como las presiones a las que están sometidos los hábitats. Es decir, que una buena gestión ecosistémica debería tener en cuenta todos estos factores para poder hacer una evaluación integral (Galparsoro et al, 2021).

Por su parte, el RD 363/2017 OEM (BOE, 2017) también incluye los elementos de la infraestructura verde marina a considerar en los planes de ordenación marítimos, lo cual apoyaría la aplicación del enfoque ecosistémico. En España, la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y la Biodiversidad (BOE, 2007), modificada por la Ley 33/2015 (BOE, 2015), desarrolla la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (IVCRE). Esta estrategia identifica los cañones submarinos como parte de la infraestructura verde marina y fomenta su protección y conservación. Los cañones son corredores ecológicos que resultan esenciales para la migración, la distribución geográfica y el intercambio genético entre poblaciones de especies de fauna y flora marinas, y por tanto para la protección y el mantenimiento de la biodiversidad marina mundial.

Los cañones submarinos son importantes estructuras geológicas de los márgenes continentales de todo el mundo. La interacción entre la topografía de los cañones submarinos y las corrientes oceánicas tiene profundas consecuencias para la diversidad, el funcionamiento y la dinámica de las comunidades pelágicas y bentónicas. Un ejemplo de ello son las corrientes marinas que a través de los cañones mejoran la productividad primaria (Ryan et al., 2005) y transportan los sedimentos y partículas asociadas hacia las profundidades (Puig et al., 2014).

Las diferentes características geomorfológicas y las variables hidrodinámicas asociadas dentro de un cañón pueden sustentar diversos tipos de hábitats y de especies que juegan una amplia variedad de roles ecológicos, a menudo en pequeñas escalas espaciales, dando lugar a una mayor biodiversidad y función del ecosistema (McClain & Barry, 2010). Dada su importancia local, los cañones representan una fuente regional relevante de biodiversidad marina y función de los ecosistemas (Leduc et al., 2014).

Varios proyectos multidisciplinares recientes centrados en el estudio de los cañones, como el proyecto LIFE+ INDEMARES y LIFE INTEMARES en los sistemas de cañones de Avilés y Capbreton respectivamente, han aumentado de forma considerable nuestra comprensión de su función ecológica, los bienes y servicios que brindan a las poblaciones humanas, y los impactos que las actividades humanas tienen en su condición ecológica general. Estas presiones de origen antropogénico incluyen la pesca, los vertidos y la extracción de petróleo y gas, entre otros. Además, los procesos hidrodinámicos de los cañones favorecen el transporte de basura a través de los cañones. Se sabe que los efectos del cambio climático pueden modificar la intensidad de las corrientes y se prevé que este posible cambio hidrográfico afecte a la estructura y el funcionamiento de las comunidades del cañón y al suministro de nutrientes al ecosistema de las profundidades del océano (Fernández-Arcaya et al., 2017).

Los sistemas de cañones submarinos de Avilés y de Capbreton se encuentran localizados en el margen continental del norte de la península Ibérica (mar Cantábrico), y ambos son extraordinarios ecosistemas característicos de los cañones submarinos profundos que, con sus particulares mecanismos de producción biológica, destacan por presentar una enorme biodiversidad que es necesario preservar, ya que los nuevos avances tecnológicos aplicados a la pesca y a la escasez de recursos en las plataformas continentales pueden estar poniéndola en peligro. Ambas zonas contaban a priori con los requisitos de presencia de hábitats de interés comunitario (HIC) del Anexo I de la Directiva Hábitats (EU, 1992), cuya conservación requiere la declaración previa de LIC y que, una vez definido el plan de gestión, pasan a ser designados como ZEC en el contexto de la RN2000. En ambas zonas aparecen representados diversos hábitats vulnerables contemplados en las denominaciones 1170 «Arrecifes» y 1180 «Estructuras submarinas producidas por el escape de fluidos» de la DH (Figura 7).

La DH establece la conveniencia de fomentar la investigación y considera que se requieren trabajos científicos y técnicos para la protección y conservación de los hábitats. La cartografía y el estudio de los fondos marinos son la base para caracterizar e identificar los hábitats, así como para elaborar mapas de su distribución. La cartografía detallada permite, junto con el análisis de riesgos de las presiones humanas, proponer un área de zonificación respecto a los hábitats de interés, para su protección y conservación bajo la figura de ZEC o LIC, que será integrada dentro de los POEM con un plan de gestión *ad hoc*, logrando así el desarrollo de unos POEM eficientes. Así la cartografía marina revierte en beneficio de todos los sectores marítimos, incluida la conservación y protección medioambiental. Además, la DH considera que los hábitats y las especies amenazadas forman parte del patrimonio natural de la comunidad, y que las amenazas que pesan sobre ellos tienen a menudo un

carácter transfronterizo, lo que hace necesario tomar medidas a nivel comunitario para conservarlos.

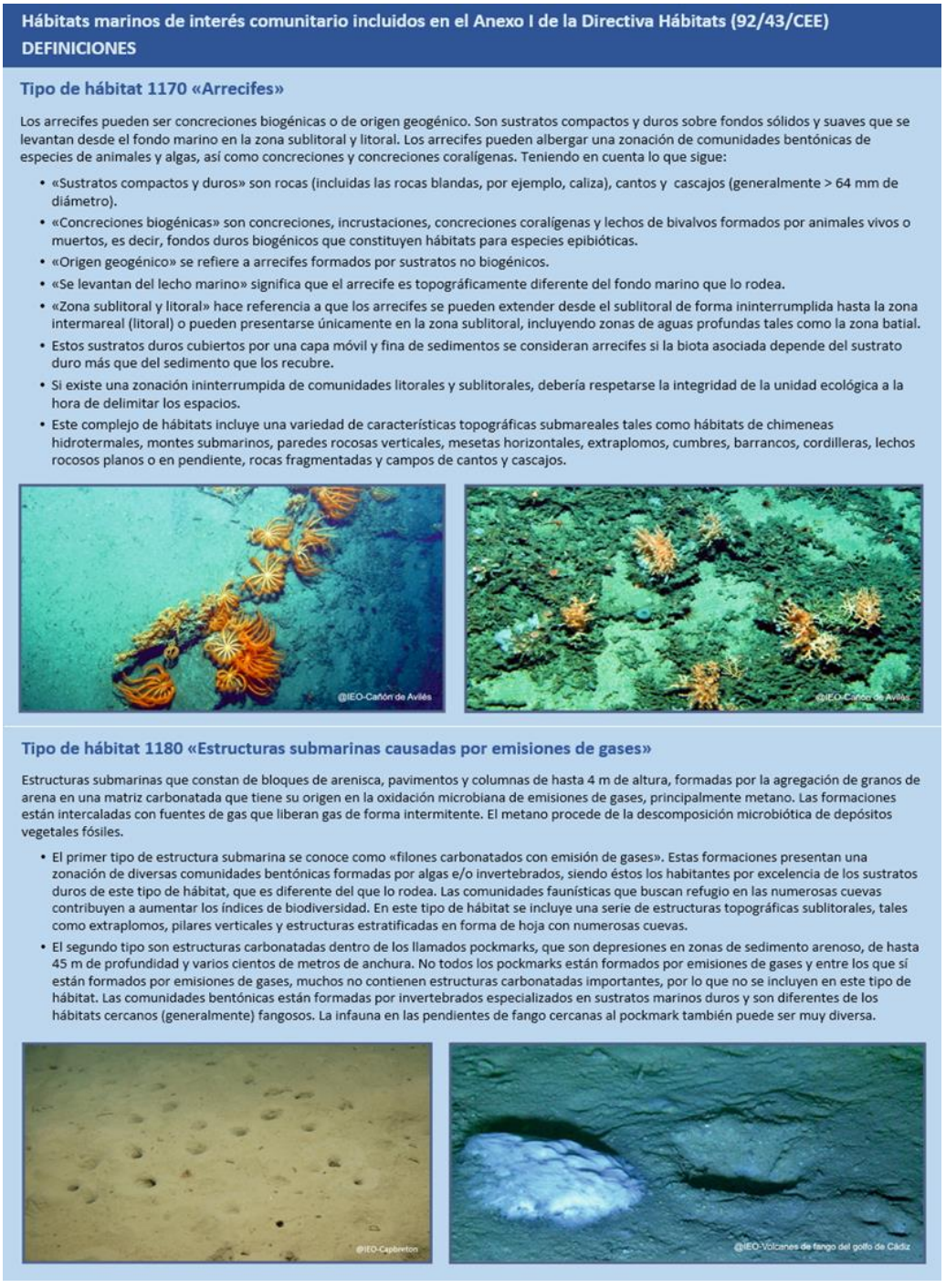


Figura 7. Definiciones, válidas y operativas, para todas las aguas marinas cubiertas por las directivas sobre naturaleza de la UE, de los diferentes tipos de hábitats naturales marinos de interés comunitario. (Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico [MITERD], 2023).

En concreto, en lo referente a la protección del medio marino, España es el segundo país de la UE con más superficie de aguas marinas, solo por detrás de Portugal, y alberga la mayor biodiversidad marina de Europa, ya que su soberanía se extiende en tres regiones biogeográficas con unas características muy diferenciadas: mediterránea, atlántica y macaronésica. Además, nuestro país ya cumple con el objetivo del Convenio sobre la Diversidad Biológica o CDB (BOE, 1994) de proteger al menos el 10 % de las aguas marinas, habiendo superado ya la cifra del 12 %. En los próximos años está previsto ampliar esta red de espacios marinos protegidos, partiendo siempre del mejor conocimiento científico disponible. Para ello se están llevando a cabo proyectos de investigación con el objetivo de estudiar los fondos marinos aún sin explorar, así como la distribución de hábitats y especies, y cuyos resultados permitirán mejorar el conocimiento para declarar nuevas áreas marinas protegidas. En concreto, en el marco del proyecto LIFE+ INDEMARES (2009-2014) se han estudiado los hábitats profundos del sistema de cañones submarinos de Avilés, y en el proyecto LIFE IP INTEMARES (2018-2024) se está investigando el sistema de cañones de Capbreton. El primero de ellos ya ha sido declarado como LIC gracias a los resultados obtenidos, y la posible inclusión del segundo en la RN2000 contribuiría significativamente a alcanzar los objetivos finales de esta red, dando coherencia y conectividad a los hábitats más representativos y de interés comunitario.

Sin embargo, las zonas de alta mar que se encuentran más allá de la ZEE de cualquier nación forman parte del patrimonio de la humanidad. Por eso, más allá de las fronteras nacionales, el llamado Tratado Global de los Océanos o, por sus siglas en inglés, BBNJ [Agreement] (UN, 2023), permitirá crear zonas de protección marina en aguas internacionales y promoverá la conservación y el uso sostenible de los recursos marinos y organismos vivos en alta mar, una extensión que abarca el 50 % de la superficie del planeta. Este acuerdo es un instrumento internacional jurídicamente vinculante relativo a la diversidad biológica marina de las zonas situadas fuera de la jurisdicción nacional, en el marco de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (CONVEMAR o UNCLOS, por sus siglas en inglés) (UN, 1982), que en su artículo 192 establece que «los Estados tienen la obligación de proteger y preservar el medio marino». La UNCLOS es considerada como la Constitución de los océanos, pero, aunque proporciona reglas importantes con respecto a la libertad de navegación y la extensión de los mares territoriales, ofrece solo una guía mínima sobre la conservación del medio ambiente, por lo que era indispensable la propuesta de un nuevo tratado.

Entre las cuestiones que se abordan en el Tratado Global de los Océanos figura el establecimiento de áreas de protección marina de alta mar como las que existen en

aguas territoriales de muchos Estados, ya que muchas naciones han creado áreas protegidas en sus ZEE pero solo el 1 % del océano abierto está protegido actualmente. Además, el acuerdo BBNJ requerirá que los Estados firmantes y corporaciones bajo su jurisdicción realicen evaluaciones de impacto ambiental antes de realizar actividades que puedan dañar los organismos y ecosistemas marinos e incluirá disposiciones para fortalecer las capacidades científicas y técnicas de los gobiernos de los países en desarrollo, para que puedan cumplir con sus obligaciones convencionales. La transferencia de tecnologías marinas y datos científicos relevantes de otros países les facilitará lograr su compromiso con el uso sostenible de los ecosistemas marinos y también los beneficios de una economía azul.

MARCO DE LA PRESENTE TESIS

Esta tesis doctoral se ha desarrollado en el marco anteriormente descrito, que se centra en la generación de la cartografía marina y su caracterización geomorfológica como base del conocimiento para establecer las áreas de protección marina que se incluyen en la OEM para regular el uso sostenible de los océanos (Figura 8). La tesis se centra en el mar Cantábrico, en concreto en los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton, por su relevancia en la RN2000 como LIC en el primer caso, y, en el segundo, como zona actual en estudio para determinar la presencia de HIC y que pueda ser declarado como espacio de la RN2000. Los cañones submarinos son uno de los rasgos más característicos e importantes a lo largo de los márgenes continentales de todo el mundo, por tres razones fundamentales:

a) Crean heterogeneidad en el terreno.

b) Proporcionan la vía principal para el transporte de sedimentos, materia orgánica y contaminantes desde la plataforma hasta las profundidades marinas.

c) Son áreas de elevada biodiversidad y producción primaria.

Aunque los cañones submarinos fueran descritos inicialmente a finales del siglo XIX (Lindenkohl, 1891), no fue hasta los albores del siglo XX que se convirtieron en un tema de debate e investigación por su gran relevancia en la dinámica de los fondos marinos. Su estudio siempre ha sido un desafío debido a su complicada morfología y gran extensión, que hacen necesario un estudio con técnicas de investigación avanzadas y de elevado coste. El conocimiento de la configuración y morfología del fondo marino de estos sistemas de cañones es esencial para comprender la distribución de las comunidades bentónicas y los patrones de circulación de las masas de agua que inciden sobre el fondo. Los resultados obtenidos a partir de la cartografía marina y la

caracterización de los fondos permiten realizar un detallado estudio geomorfológico y morfosedimentario, que es el punto de partida para desarrollar la distribución de los hábitats, y así generar el conocimiento científico necesario para la conservación y la adecuada gestión del medio marino y sus recursos mediante la OEM.

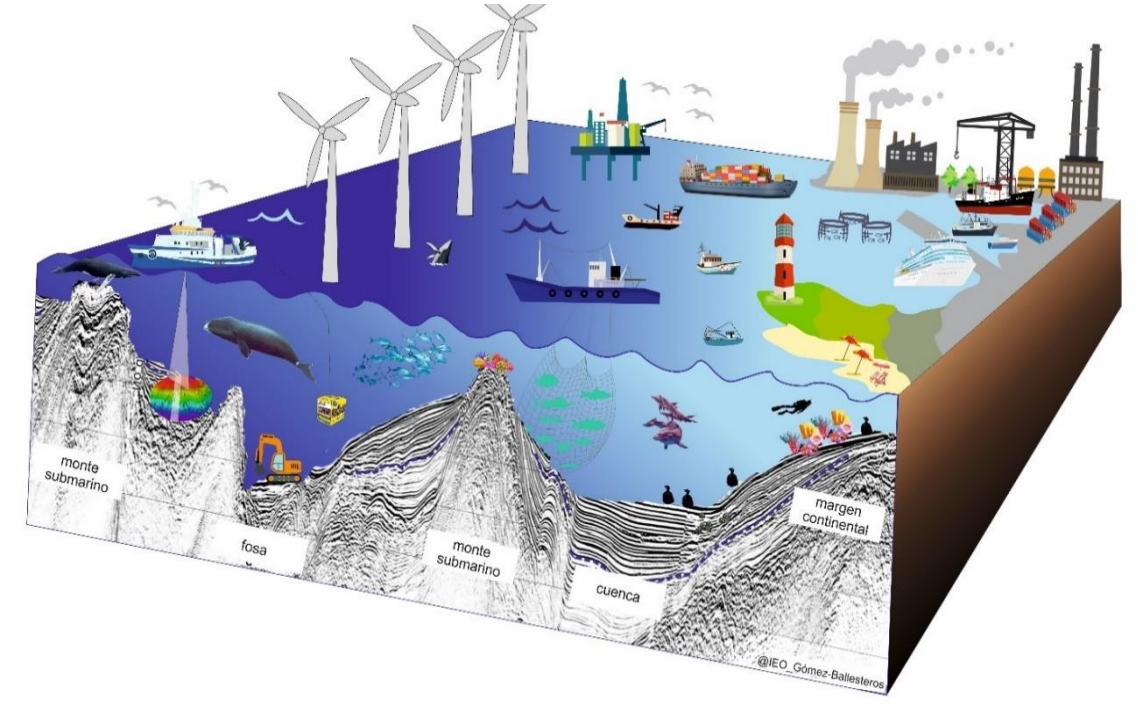


Figura 8. Bloque diagrama representativo de la investigación del fondo marino y el uso de los recursos vivos y no vivos de los océanos a través de los diferentes sectores.

Conviene resaltar que los procesos oceánicos van más allá de los límites territoriales, por lo que es necesario abordarlos desde un enfoque transfronterizo, especialmente en estas áreas de los cañones submarinos de Avilés y Capbreton, próximas al límite que separa las aguas entre España y Francia. Por ello, además de realizarse el estudio morfosedimentario de los dos sistemas de cañones submarinos (Capítulos 1 y 2), en este trabajo se ha llevado a cabo la aplicación de este conocimiento para la declaración de espacios marinos protegidos (Capítulo 3) y la OEM (Capítulos 4 y 5), un proceso que requiere del mejor conocimiento científico disponible para su correcta aplicación. Este aspecto se ha abordado a través de proyectos como SIMNORAT (Supporting Implementation of Maritime Spatial Planning in the Northern European Atlantic region, 2019-2021) que han permitido analizar en profundidad un proceso PEM con la integración del conocimiento científico, tanto para la aplicación en el proceso nacional como en las áreas transfronterizas del mar Cantábrico en particular.

Los resultados presentados en esta tesis corresponden a áreas del fondo marino desconocidas hasta el momento o poco conocidas por la falta de resolución y calidad de los datos obtenidos con anterioridad. Este trabajo supone una ampliación del conocimiento de los fondos marinos y la generación de nuevas cartografías marinas. Esta nueva información, junto con los resultados obtenidos en gestión y gobernanza de los océanos para la implementación de la OEM, están siendo de aplicación en el cumplimiento de la DMEM, la DH y la DOEM.

La investigación del fondo marino favorece el crecimiento de la economía azul y de la riqueza natural de un país, y constituye un claro ejemplo de transferencia de conocimiento científico a la sociedad a través de la ciencia.

1.1. Hipótesis y objetivos

De acuerdo con el contexto y la información presentada en la introducción general, la hipótesis de la presente tesis es que el estudio de los fondos marinos se puede aplicar como base de conocimiento científico para apoyar las decisiones en la gobernanza de los océanos a través de los procesos de planificación espacial marina. De este modo, se puede alcanzar una gestión de los recursos marinos basada en la conservación de los ecosistemas, considerando las dinámicas económicas, ecológicas y sociales, y las características transfronterizas del medio ambiente marino, demostrando la eficacia y necesidad de la ciencia aplicada en la política marítima. Hoy en día, disponemos de tecnología puntera que nos permite abordar el estudio de los fondos marinos y obtener el conocimiento científico necesario para apoyar las decisiones en la gobernanza de los océanos.

En este sentido, los objetivos principales de la presente tesis son el estudio geológico, tanto geomorfológico como sedimentario, de los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton para la declaración de nuevos espacios marinos protegidos por su importancia para los hábitats, según la RN2000, y su aplicación en la OEM. Se pretende demostrar que el conocimiento científico es necesario para apoyar la toma de decisiones en la ordenación del espacio marítimo, con el fin de conservar y proteger sus ecosistemas.

Para lograr dichos objetivos, se han planteado los siguientes objetivos específicos, cada uno de los cuales se desarrolla en los diferentes capítulos:

1. Estudio geomorfológico del fondo marino en los sistemas de cañones submarinos con el potencial de ser incluidos en la RN2000 en el mar Cantábrico.

2. Identificación de los procesos geológicos que han dado lugar a esta geomorfología y condicionan la presencia de diferentes hábitats de fondos rocosos y sedimentarios.

3. Clasificación de los tipos de fondo esenciales para la distribución de los ecosistemas marinos vulnerables y realización de una caracterización morfosedimentaria como base para la identificación y distribución de los hábitats.

4. Demostrar la necesidad e importancia del conocimiento científico para la ordenación del espacio marítimo basado en un enfoque ecosistémico y, en definitiva, para la gobernanza de los océanos.

5. Analizar los procesos de ordenación del espacio marítimo a nivel nacional y en áreas transfronterizas, ya que las fronteras políticas pueden no coincidir con los límites de las actividades ni de los ecosistemas marinos.

6. Evaluar si la aplicación de los pasos de la planificación espacial marina (PEM) es un método eficaz para alcanzar los objetivos ecológicos, económicos y sociales que garanticen una distribución espacial y temporal de las actividades humanas bajo un enfoque ecosistémico.

1.2. Estructura

La presente tesis ha sido organizada en nueve capítulos (Figura 9) con el fin de estructurar adecuadamente el trabajo realizado, siguiendo la evolución necesaria en el conocimiento de los fondos marinos de los primeros capítulos, para abordar después la complejidad de la gestión y planificación del espacio marino presentada en los capítulos finales

El Capítulo 1 es la **introducción general** en la que se describe el contexto del trabajo. En el apartado 1.1., se exponen la hipótesis planteada, el objetivo principal y los objetivos específicos. En el apartado 1.2., se hace una presentación de la estructura de la tesis, elaborada bajo la modalidad de formato por publicaciones editadas en revistas referenciadas en los *Journal Citation Reports*. El encuadre geográfico y el marco geológico de la zona de estudio se describen en el apartado 1.3. En el Capítulo 2 se describen el **material y los métodos empleados** para la caracterización del fondo marino, y también la metodología aplicada en el trabajo desarrollado sobre planificación espacial marina.

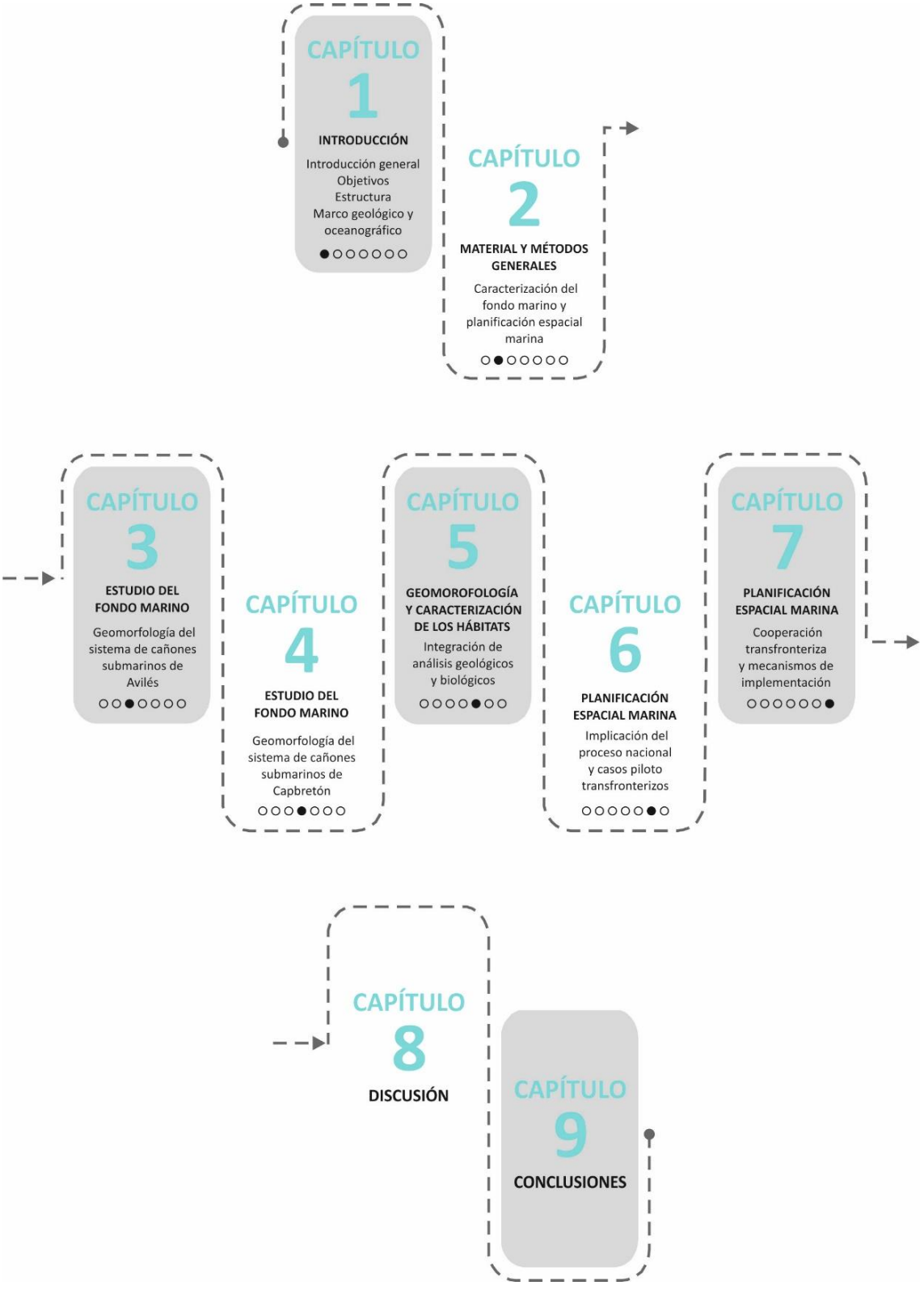


Figura 9. Diagrama representativo de la estructura de la presente tesis.

En los Capítulos 3, 4, 6 y 7 se incluyen los **artículos científicos originales**, **adaptados al formato** de presentación de la tesis, incluida la numeración de sus apartados, de forma que se respeta el contenido de los mismos según lo publicado por las revistas, pero integrándolos en el conjunto de los capítulos. El Capítulo 5 corresponde a la **identificación y caracterización de los hábitats bentónicos** a partir de los datos geológicos y su integración con los datos biológicos, para establecer los modelos predictivos de hábitats. Sin embargo, estos modelos biológicos, necesarios para establecer la zonación de los espacios marinos protegidos, se han desarrollado en trabajos publicados en los que la autora ha contribuido pero no liderado, por lo que no han sido incorporados en la presente tesis.

En los Capítulos 3 y 4 se realiza el estudio morfosedimentario de los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton (margen cantábrico) para describir la geomorfología de estas zonas y los procesos geológicos que la han generado. La realización de campañas multidisciplinares de investigación oceanográfica ha permitido obtener datos batimétricos, de reflectividad, perfiles sísmicos de alta resolución y muestras de sedimentos, rocas y comunidades bentónicas del fondo marino, completados con imágenes submarinas obtenidas a partir de vehículos de observación remota. El procesado y análisis de la información geofísica, junto con la integración de los datos sedimentológicos y el análisis de imágenes, ha permitido obtener una cartografía de alta resolución a partir de la cual se ha realizado la primera caracterización morfosedimentaria de ambos sistemas de cañones, incluyendo el cañón principal y su sistema de tributarios. Una de las principales características de estos sistemas de cañones es la presencia de sustratos rocosos y sedimentarios con presencia de campos de *pockmarks*, por lo que ambos son susceptibles de albergar los hábitats 1170 Arrecifes y 1180 Estructuras submarinas causadas por emisiones de gases respectivamente, según la RN2000.

El Capítulo 3 (Gómez-Ballesteros et al., 2014: «Geomorphology of the Avilés Canyon System, Cantabrian Sea [Bay of Biscay]») se centra en el análisis del sistema de cañones submarinos de Avilés, declarado en 2014 como LIC de la RN2000 por la presencia del hábitat 1170 (BOE, 2014b), mientras que el Capítulo 4 se desarrolla en el sistema de cañones submarinos de Capbreton (Gómez-Ballesteros et al., 2022: «Morphosedimentary characterization of the Capbreton Submarine Canyon System, Bay of Biscay [Cantabrian Sea]»). Esta última es una zona en la que actualmente se realiza un estudio para determinar la presencia de HIC para la declaración de LIC, en particular la presencia de hábitat 1170 en sustratos rocosos o hábitats 1180 en sustratos sedimentarios. Para ello ha sido necesario realizar un estudio detallado del fondo marino que permita cartografiar las estructuras rocosas, susceptibles de

desarrollar el hábitat 1170, y caracterizar los campos de *pockmarks* presentes en las zonas sedimentarias, susceptibles de albergar el hábitat 1180 que se desarrolla en estas morfologías. Por primera vez se realiza una exhaustiva caracterización morfosedimentaria de ambas zonas.

En el Capítulo 5 se describe cómo, a partir de la cartografía geológica generada, se obtienen las capas abióticas que serán claves en los modelos predictivos de distribución de hábitat bentónicos, utilizando la geomorfología como base para la identificación, delimitación y caracterización de estos hábitats tras integrar la componente biológica de presencia y abundancia de especies.

En el Capítulo 6 (Gómez-Ballesteros et al., 2021a: «Los casos piloto de ordenación del espacio marítimo transfronterizos y su implicación en el proceso nacional en España») se analizan los procesos de la ordenación del espacio marítimo integrada entre los distintos sectores, las distintas administraciones a nivel nacional, y en áreas transfronterizas. La gestión y ordenación del espacio marítimo está basada en el conocimiento del ecosistema, equilibrando metas y objetivos ecológicos, económicos y sociales en aras de un desarrollo sostenible. Esta ordenación consiste en establecer las diferentes áreas destinadas a cada uso o actividad sostenible que sean compatibles con la conservación del medio marino. Dado que las fronteras políticas pueden no coincidir con los límites de las actividades ni de los grandes ecosistemas marinos, resulta primordial lograr un consenso en las áreas transfronterizas y establecer acuerdos y comités de gestión mixta entre los estados ribereños.

En el Capítulo 7 (Gómez-Ballesteros et al., 2021b: «Transboundary cooperation and mechanisms for Maritime Spatial Planning implementation. SIMNORAT Project») se lleva a cabo una evaluación sobre la aplicación de los diferentes pasos establecidos en la metodología clásica para la OEM y su aplicación en áreas transfronterizas. Este trabajo se realiza a través de casos piloto para determinar la eficacia de la OEM en la consecución de los objetivos ecológicos, económicos y sociales que garanticen una distribución espacial y temporal de las actividades humanas bajo un enfoque ecosistémico. Para ello es necesario tener en cuenta todos los componentes del proceso, en particular la aplicación del conocimiento científico y la participación activa de los agentes interesados, para garantizar un crecimiento azul sostenible con la protección de la biodiversidad marina. Este capítulo recoge por primera vez los resultados de los diferentes proyectos piloto de ordenación del espacio marítimo transfronterizos en los que España ha participado, y hace un análisis sobre la incorporación de estos resultados en el proceso nacional de ordenación del espacio marítimo, evaluando cómo han revertido sobre los objetivos de los POEM.

Seguidamente, en el Capítulo 8 se realiza una **discusión** a partir de la integración de los resultados obtenidos con la perspectiva del proceso completo: desde la toma de datos marinos hasta la integración del conocimiento científico en la toma de decisiones para la gestión del espacio y recursos marinos, para lograr una eficaz ordenación del espacio marítimo. Este capítulo está enfocado desde una visión holística del proceso, teniendo en cuenta que la OEM es un proceso cíclico que incluye la monitorización del plan y la evaluación del mismo. Por ello se deben aplicar las lecciones aprendidas en cada proceso del ciclo.

Por último, en el Capítulo 9 se exponen las principales **conclusiones y recomendaciones** obtenidas en relación a los objetivos planteados, y se hace una reflexión sobre hacia donde debería ir la gestión y gobernanza del espacio marino proponiendo futuros trabajos.

1.3. Marco geológico y oceanográfico

El área de estudio se sitúa en el margen cantábrico de la península ibérica. En esta región los trabajos se han centrado en el sistema de cañones submarinos de Avilés frente a la costa occidental de Asturias y en el sistema submarino de cañones de Capbreton, frente a la costa del País Vasco (Figura 10). Ambos sistemas atraviesan el talud continental seccionando oblicuamente el margen continental norte desde la plataforma continental, donde sus cabeceras a veces llegan incluso a incidir, hasta la llanura abisal. En el talud continental se distingue un talud superior y un talud inferior, este último caracterizado por pendientes más fuertes. Los cursos de los cañones tributarios confluyen en los pies de los cañones de Avilés y Capbreton respectivamente, donde el paso a la llanura abisal se produce de forma suave, y la conexión entre la llanura abisal y el talud continental inferior es bastante neta.

A escala planetaria, los márgenes continentales activos contienen un 15 % más de cañones (2586, lo que equivale al 44,2 % de todos los cañones submarinos) que los márgenes pasivos (2244, lo que equivale al 38,4 %). Además, los cañones de los márgenes continentales activos son más pronunciados, más cortos, más dendríticos y más estrechamente espaciados que los de los márgenes pasivos (Harris & Whiteway, 2011). Estos autores confirmaron las observaciones de investigaciones previas sobre la existencia de una relación entre la pendiente de los cañones y su espaciamiento: a mayor pendiente de los cañones menor espaciamiento de los mismos.

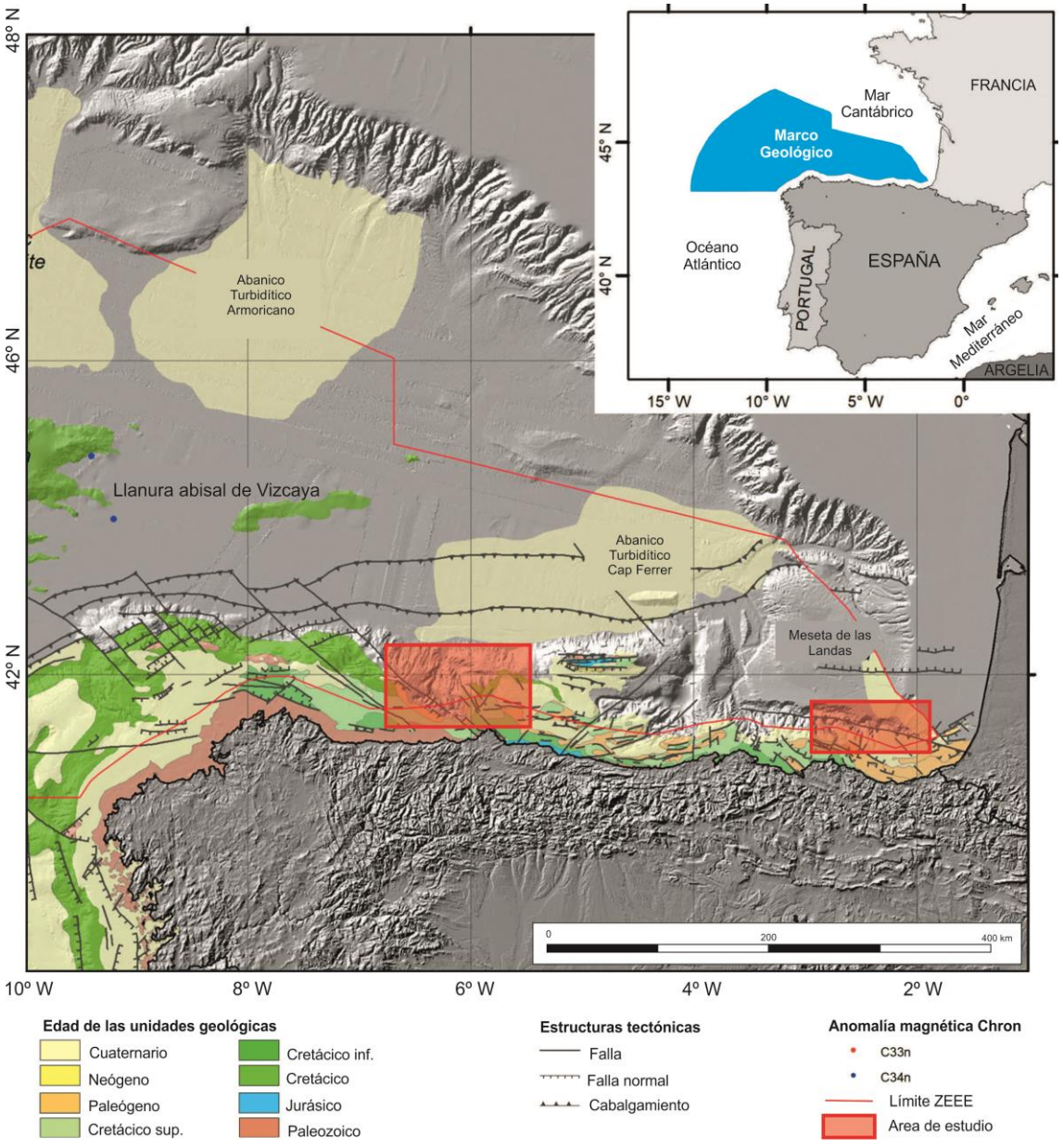


Figura 10. Marco geológico y tectónico del margen continental septentrional ibérico y de los dominios abisales adyacentes. ZEEE: Zona Económica Exclusiva Española. Modificado de Rodríguez-Fernández et al. (2014) y Maestro et al. (2021). Selecciones de anomalías magnéticas de Seton et al. (2014). MDT de fondo de EMODnet Bathymetry (https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry)

El margen continental noribérico o margen cantábrico es un margen pasivo independizado del margen armoricano durante el proceso de *rifting* postvarisco que dio lugar a la apertura del golfo de Vizcaya y a la individualización de la placa ibérica; posteriormente, fue deformado e incorporado al orógeno pirenaico-cantábrico durante la compresión alpina que originó el cierre parcial del golfo de Vizcaya y el

levantamiento del sistema orogénico. Se caracteriza por presentar una elevada complejidad morfoestructural, marcada por el desarrollo de una plataforma continental irregular y estrecha y un talud continental corto y abrupto, surcado por profundos cañones submarinos, que difiere notablemente de la fisiografía de su conjugado al norte, caracterizado por el desarrollo de una extensa plataforma continental y un talud suave (Cadenas, 2013). Esta diferenciación morfológica es el resultado de la evolución alpina de ambos márgenes, mientras que el margen armoricano permaneció estable, el margen noribérico fue sometido a un esfuerzo compresivo que generó una fuerte deformación de la zona del talud continental y una compleja estructuración de la plataforma continental, que incluye diversos altos estructurales y sistemas de cañones submarinos.

La compleja historia geológica de este margen continental comenzó con una evolución tectónica que se remonta desde el Jurásico hasta la actualidad (Boillot et al., 1971; Capdevilla et al., 1980; Malod et al., 1982; Boillot & Malod, 1988; Pascual et al., 2004; Maestro et al., 2015). Esta complejidad morfoestructural es consecuencia directa de las características geológicas, resultado de la evolución paleogeográfica postvarisca de la placa ibérica, condicionada por la posición entre las placas africana y euroasiática. La inversión del contexto geodinámico tras el proceso de colisión, que culminó con la formación del supracontinente Pangea durante la orogenia varisca, dio lugar a la implantación de un régimen divergente-transformante entre Gondwana y Laurassia, marcado por la reactivación de las zonas de *rift* que condujeron a la apertura de los océanos Atlántico y Tethys durante el Jurásico y el Cretácico inferior (Torsvik, 2008), iniciada por la propagación hacia el sur del *rift* del mar Noruego-Groenlandés y hacia el oeste del *rift* del Tethys (Ziegler, 1989). En el margen norte de lberia, este proceso dio lugar a una primera fase de *rifting* continental en el Triásico (Boillot et al., 1979), seguida de una subsidencia generalizada de los *rifts* bajo el nivel del mar durante el Jurásico inferior y medio, que dio paso en el Jurásico superior a una segunda fase de mayor relevancia, que se extendió hasta el Aptiense tardío en el margen noroccidental de la placa ibérica (Malod & Mauffret, 1990). EI proceso de *rifting* prosiguió en la zona central del golfo con la expansión oceánica que culminó con la apertura del golfo de Vizcaya (Le Pichon et al., 1971; Sibuet et al., 2004), a consecuencia del movimiento antihorario de lberia, con una rotación total de 35° (van der Voo, 1969; Gong et al, 2008; Vissers & Meijer, 2012a, 2012b).

El estudio de las anomalías magnéticas de los fondos oceánicos ha dado lugar a diversas reconstrucciones de paleogeografía de la placa ibérica (Srivastava et al., 1990a y 1990b; Roest & Srivastava, 1991). EI inicio de la actividad a lo largo de la

zona de fractura de las Azores-Gibraltar, simultáneamente a la traslación del límite de placas hacia el sur y el comienzo de la actividad a través de la zona de King's Trough, culminó con la independización de la placa ibérica. Estos autores proponen la existencia de Iberia como una placa independiente hasta el Mioceno inferior (isocrona 6c, 24 Ma), momento en el cual la zona de fractura que discurre entre King's Trough y los Pirineos se volvió inactiva e Iberia fue anexionada a Eurasia, situándose el límite de placas en la zona de fractura de Azores-Gibraltar. La apertura del golfo de Vizcaya generó la individualización de la placa ibérica y la separación del margen continental armoricano y el margen continental noribérico, que tras la finalización del proceso de *rifting* continental en el Aptiense se comportó como un margen pasivo durante el Cretácico superior.

La deriva hacia el noroeste de la placa africana culminó a comienzos del Cenozoico con la convergencia entre la placa euroasiática y la placa ibérica en la orogenia alpina, generando el cierre parcial del golfo de Vizcaya, el levantamiento del orógeno pirenaico, constituido por los Pirineos y su prolongación occidental a lo largo de la cordillera Cantábrica (Pulgar et al., 1996; Maestro et al., 2013), y la inversión e incorporación al sistema orogénico de la cuenca vasco-cantábrica y el margen continental noribérico. La convergencia entre las placas ibérica y euroasiática favoreció esta inversión de las estructuras extensionales a estructuras de contracción (Pulgar et al., 1999), dando lugar al cierre parcial del golfo de Vizcaya (Boillot et al., 1972; Thinon et al., 2001; Gallastegui et al., 2002) y acortando el margen cantábrico, que se comportó como un margen activo hasta el Mioceno superior (Gallastegui, 2000), cuando comenzó la etapa de margen pasivo que continúa en la actualidad, y reconfigurando el talud con el aspecto abrupto que conserva.

En esta última fase se desarrolló un margen compresivo estrecho en el actual margen del norte de Iberia y se produjo el levantamiento y la deformación de la cordillera Cantábrica (Pérez-Estaún et al., 1995; Pulgar et al., 1996; Srivastava et al., 2000). Como resultado de esta evolución geodinámica, en el área de trabajo que nos ocupa se identifican las siguientes orientaciones estructurales preferentes (Figura 10): i) NO-SE, correspondientes con fallas de desgarre de tipo lateral-derecho, como la falla de Ventaniella (en tierra); ii) NNE-SSO, normalmente relacionadas con fallas de desgarre de tipo lateral-izquierdo; iii) E-O y iv) ONO-ESE, relacionadas con estructuras compresivas como grandes cabalgamientos y pliegues (Gallastegui et al., 2002; Muñoz-Martín, et al., 2022; Druet el al., 2023).

Durante el Neógeno se desarrollaron la red de cañones submarinos y sus afluentes y plataformas adyacentes. Tanto en el Neógeno como en el Cuaternario, la sedimen-

tación suavizó muchos rasgos tectónicos, mientras se desarrollaba la importante red de cañones submarinos que incide oblicuamente a través del talud continental, con un marcado control tectónico (Boillot et al., 1971 y 1974; Álvarez-Marrón et al., 1995; Gallastegui, 2000; Gallastegui et al., 2002; Iglesias, 2009; van Rooij et al., 2010).

El basamento cristalino del área de estudio se corresponde básicamente con la extensión hacia el mar de las unidades precámbricas de la zona asturoccidental-leonesa del macizo Ibérico, cerca del límite con la zona cantábrica (Capdevila et al., 1980; Malod et al., 1982; Mamet et al., 1991; Pérez-Estaún & Bea., 2004).

Durante la etapa extensional en la primera fase de *rift* se desarrolló, entre el Pérmico y el Triásico (Riaza-Molina, 1996), la formación de grabens y semigrabens rellenos por depósitos aluviales y evaporitas triásicas. El episodio *post-rift* que siguió a esta primera fase de *rifting* durante el Jurásico inferior y medio estuvo acompañado de una trasgresión generalizada que dio lugar al depósito de facies marinas restringidas. La segunda fase de *rifting* desarrollada en el Jurásico superior estuvo acompañada del depósito de las facies Purbeck (Riaza Molina, 1996). Boillot et al. (1979) proponen la existencia de una transgresión local en el Portlandiense que delimita la transición entre depósitos de plataforma marina somera y facies pelágicas profundas. Entre el Valanginiense y el Barremiense, el depósito de las facies Weald coincidió con una reactivación del proceso de *rift* que se extendió hasta el Aptiense (Malod & Mauffret, 1990), cuando la expansión oceánica del golfo de Vizcaya comenzó. En el Aptiense, la transición del régimen extensional a un régimen de *strike-slip* estuvo acompañada de la formación de plataformas carbonatadas con depósitos arrecifales que, con el desarrollo progresivo de la fase transtensiva, dieron paso en el Albiense y el Cenomaniense a una sedimentación detrítica con una rápida transición a facies profundas (Riaza-Molina, 1996).

Durante el Cretácico superior, se desarrollaron profundas cubetas en dirección E-W donde se produjeron depósitos de *flysh*, localizados actualmente a lo largo de la plataforma continental (Boillot et al., 1979). La cobertera de edad mesozoica a cuaternaria se deposita sobre este basamento pre-Mesozoico con un espesor de 0 a 4 s (TD, Tiempo Doble), con una distribución irregular que refleja la compleja evolución del margen continental (Vigneaux, 1974; Derégnaucourt & Boillot, 1982; Thinon et al., 2001; Gutiérrez-Claverol & Gallastegui, 2002). En general, la secuencia sedimentaria concluye con los depósitos del Plioceno y el Cuaternario que constituyen la unidad postectónica depositada durante la etapa actual de margen pasivo, iniciada tras la finalización de la deformación alpina, y dominada por la actuación de procesos oceanográficos y geomorfológicos.

La cartografía y los modelos digitales del terreno realizados en el proyecto ECO-MARG (Serrano et al., 2005; Gómez-Ballesteros et al., 2009), a partir de los análisis granulométricos, los datos de reflectividad de fondo y el estudio de los perfiles de sísmica de reflexión, permiten determinar la escasez del recubrimiento sedimentario, debido principalmente a la existencia de extensos y complejos sistemas de cañones submarinos, que suponen zonas de transferencia y *bypass* de sedimentos. La intensa actividad geomorfológica asociada a estas zonas genera fondos con escaso recubrimiento sedimentario que, en las pendientes de las áreas de los canales, presentan un marcado carácter irregular, asociado a la existencia de abundantes movimientos gravitacionales. Además de la transferencia de sedimentos a través de la densa red de cañones submarinos que surcan el talud continental, la existencia de fuertes corrientes en esta plataforma continental impide la acumulación de grandes depósitos sedimentarios, lo que da lugar a un margen continental con baja tasa de sedimentación (Ercilla et al., 2008).

1.3.1. Los sistemas de cañones submarinos

El sistema de cañones de Avilés se sitúa entre los 43° 37,60′ N y los 44° 18,37′ N de latitud, y desde los 06° 46,75′ W hasta los 05° 18,70′ W de longitud (Figura 11), entre Luarca y Gijón (Asturias). Está formado por tres grandes cañones principales, Avilés y La Gaviera, de orientación NO-SE, y El Corbiro, de orientación NE-SO, que se extienden desde la plataforma continental hasta más de 4000 m de profundidad en la llanura abisal (Gómez-Ballesteros et al., 2012), y están controlados por el régimen tectónico de la zona, que modifica sus orientaciones sobre los 2000 m de profundidad. Los sedimentos de origen continental procedentes de los ríos Narcea y Nalón son transportados por las corrientes marinas, a través del sistema de cañones, hasta llegar a la llanura abisal, y en ocasiones llegan a recorrer más de 90 km. Los aportes sedimentarios trasportados por los ríos, sumados a los materiales procedentes de la erosión costera y a los restos orgánicos acumulados en el litoral, forman la carga de material que es transportado a través del sistema de cañones, que genera fenómenos de erosión y sedimentación.

El sistema de cañones de Capbreton está localizado entre las coordenadas 43° 30′ N y 43° 50′ N en latitud, y 3° 0′ W y 2° 3′ W en longitud (Figura 11) entre San Sebastián y Bilbao (País Vasco). El rasgo geomorfológico más notable de esta zona es el propio cañón de Capbreton, cuya cabecera está situada justo al lado de la costa (Lobo et al., 2015). El cañón de Capbreton forma un valle submarino meandriforme de 300 km de longitud que alcanza profundidades hasta de 3800 m (Brocheray et al., 2014), con una orientación E-O, muy influenciada por los procesos tectónicos que dieron lugar

al margen (Boillot et al., 1988; Cirac et al., 2001). El flanco sur del cañón está diseccionado por valles tributarios, que son aproximadamente perpendiculares a las isóbatas del talud continental. Las cabeceras de estos cañones tributarios se sitúan en la isóbata de 200 m. Hay nueve cañones principales con longitudes de entre 16 y 34 km, y anchuras de entre 2,5 y 5 km (Galparsoro et al., 2020). En este sector, los afluentes, en lugar de conectarse directamente con el cañón principal, lo hacen a través de terrazas (Gaudin, 2006). En términos de aporte sedimentario, la costa vasca está drenada por 12 ríos principales que aportan material terrígeno en suspensión (Ferrer et al., 2009), pero además el cañón de Capbreton recibe también aportes de los ríos que desembocan en la costa francesa.

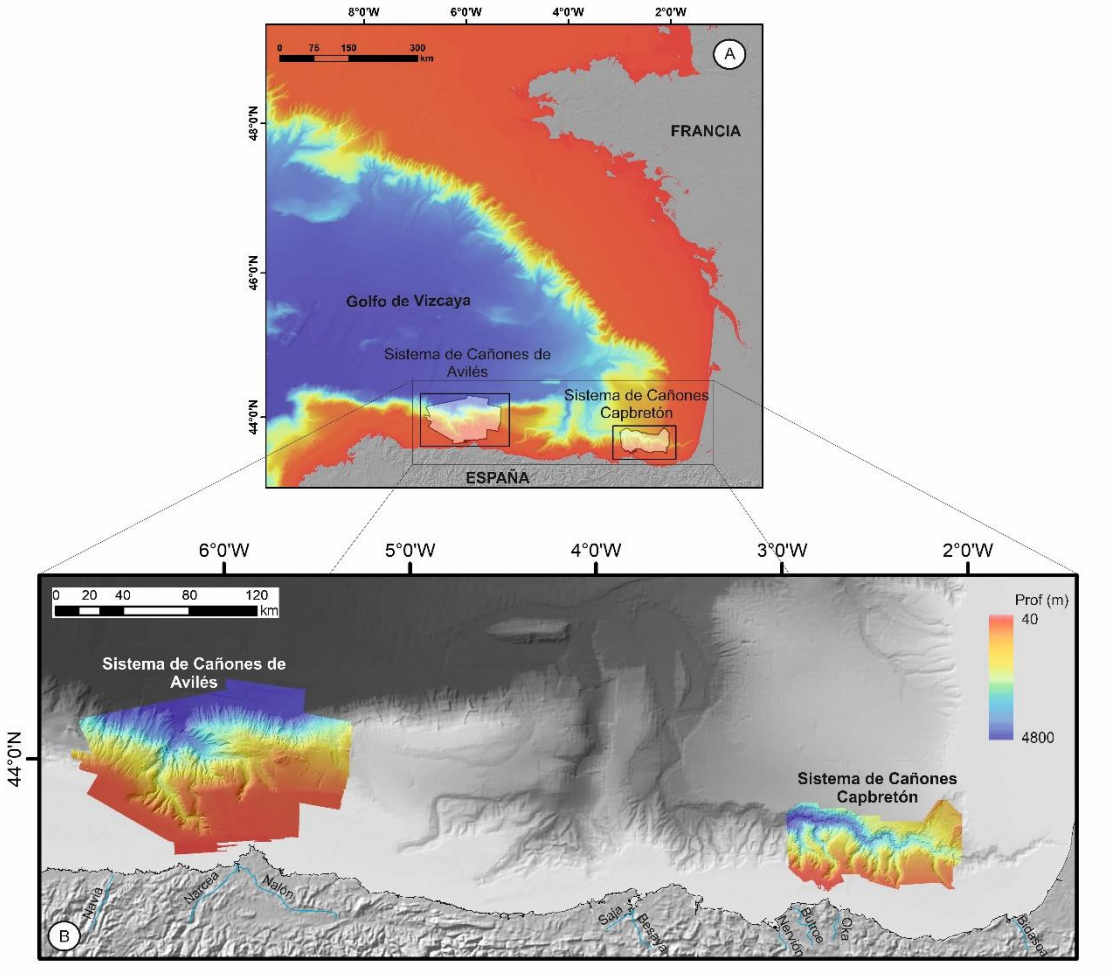


Figura 11. A) Situación general del área de estudio de los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton. B) Modelo digital del terreno del fondo en escala de grises de EMODnet Bathymetry (https://emodnet.ec.europa.eu/en/bathymetry) y escala de color de batimetría en el rango de profundidades obtenidas durante los proyectos LIFE+ INDEMARES y LIFE INTEMARES en dichas áreas.

1.3.2. La circulación oceánica

Las condiciones ambientales son un factor determinante sobre las características de los hábitats bentónicos, al permitir o no la existencia de ecosistemas específicos. La circulación oceánica en el margen cantábrico, en particular en sus interacciones con el lecho marino, es de especial interés debido a su potencial como agente de erosión, transporte y sedimentación. La presencia de una topografía compleja y abrupta con sistemas de cañones submarinos, escarpes o plataformas marginales tiene, lógicamente, una influencia local sobre la circulación, pero, al mismo tiempo, esta favorece el desarrollo de comunidades bentónicas productoras de carbonatos, como la coralígena y el *maërl* (algas rojas calcáreas) (Canals & Ballesteros, 1997).

La mayoría de estas corrientes (Figura 12) se forman en el Atlántico Norte o son el resultado de la interacción de las masas de agua atlánticas con las formadas en el Mediterráneo (Pollard et al., 1996; van Aken, 2000a, 2000b; van Aken, 2001; Lavín et al. 2006). En función de su distribución en una estructura de capas ordenadas según su densidad, y en la que se van encontrando las diferentes masas de aguas desde la superficie hasta el fondo, pueden clasificarse como:

- En los niveles más superficiales se encuentra una capa en interacción constante con la atmósfera que va cambiando sus propiedades en respuesta a los ciclos atmosféricos meteorológicos regionales. Durante el verano, se observa una fuerte estratificación térmica en los primeros 100 m; en invierno, el enfriamiento superficial crea una capa mezclada, muy homogénea, que típicamente alcanza profundidades máximas de unos 250 m a finales de marzo (González-Pola et al., 2007).

- Las aguas centrales del Atlántico Noreste (ENACW, por sus siglas en inglés) se extiende desde la base de la capa de mezcla de invierno hasta profundidades comprendidas entre los 500-600 m. Estas aguas se forman en regiones próximas al norte y noroeste del golfo de Vizcaya y circulan lentamente hacia el sur (Pingree, 1993; Paillet & Arhan, 1996).

- Las aguas mediterráneas (MW, por sus siglas en inglés), se encuentran hasta profundidades de unos 700-1400 m, con el máximo a unos 1000 m. Estas aguas se desplazan desde el golfo de Cádiz, a partir de la salida de aguas del mar Mediterráneo, por el estrecho de Gibraltar, para luego dirigirse hacia el norte a lo largo del margen occidental ibérico (Iorga & Lozier, 1999a y 1999b). Las aguas

mediterráneas penetran en el golfo de Vizcaya desde el oeste e interaccionan con las corrientes de talud.

- Las aguas con origen en el mar del Labrador (LSW, por su siglas en inglés) penetran en el golfo de Vizcaya desde el noroeste (Pingree, 1973; Paillet et al., 1998) y su núcleo principal se encuentra en 1800 m de profundidad, aproximadamente (Figura 12), aunque es difícil distinguir su firma hidrográfica hacia el sur del golfo de Vizcaya.

- Finalmente, a grandes profundidades, se encuentran las aguas profundas del Atlántico Norte (NAWD, por sus siglas en inglés), una masa de agua resultante principalmente de la mezcla de diferentes masas de agua, o de origen ártico, e incluso una pequeña componente de origen antártico (van Aken, 2000a).

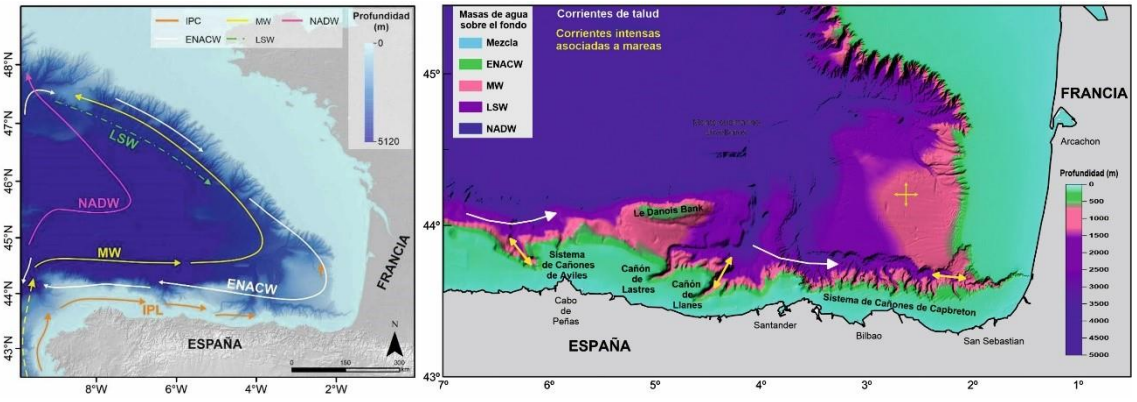


Figura 12. Esquema del patrón de circulación de las distintas masas de agua en la zona del golfo de Vizcaya. IPC: Iberian Poleward Water; ENACW: Agua Central Noratlántica Oriental; MW: Agua Mediterránea; LSW: Agua del Labrador y NADW: Agua Noratlántica Profunda. Modificada de Gómez-Ballesteros et al. (2023).

La zona de estudio se encuentra en la región sur del golfo de Vizcaya (mar Cantábrico). A gran escala, dicha región forma parte del sistema de corrientes de contorno oriental del Atlántico Norte que se extiende desde el sistema de afloramiento africano hasta Irlanda (González et al., 2004; Sánchez et al., 2014a). Las corrientes marinas en los sistemas de contorno oriental son, al contrario que en los contornos occidentales, débiles y anchas. En el caso del Atlántico Norte la existencia de distintos focos de formación de aguas profundas implica además una estructura de la columna de agua compleja con circulaciones diferentes a distintos niveles.

Los estudios sobre las condiciones oceanográficas de esta zona revelan esta estratificación a lo largo de la columna de agua en masas de agua de diferente densidad

(Montero-Serrano et al., 2013; Llave et al., 2015). En el golfo de Vizcaya, la circulación es anticiclónica (en el sentido de las agujas del reloj), especialmente en los niveles superficiales (van Aken, 2002), pero también a niveles intermedios (Pingree, 1993) e incluso al nivel del agua mediterránea (Colas, 2003). Sus patrones de circulación son más débiles en comparación con las corrientes principales del Atlántico Norte, de pocos centímetros por segundo (cm/s), que progresan desde el noroeste siguiendo el gran giro subtropical oceánico (Mazé et al., 1997).

La circulación media en niveles profundos es aún más débil (≤ 1 cm/s) y poco definida, observándose a gran escala una recirculación ciclónica a lo largo de la cuenca oriental del Atlántico Norte (Dickson et al., 1985; Paillet & Mercier, 1997). Sin embargo, en las zonas de plataforma y de talud se desarrollan corrientes secundarias que interaccionan con la circulación general de gran escala dando lugar a procesos dinámicos muy energéticos debidos a la existencia de mareas fuertes y del desarrollo de estas corrientes de talud intensas forzadas por anomalías de densidad (Sánchez et al., 2014a). A lo largo de los taludes continentales europeos se desarrolla una corriente más estable, causada por los gradientes de densidad latitudinales en combinación con la existencia de un margen continental orientado de norte a sur, que se dirige hacia latitudes boreales.

En la región ibérica se conoce como la corriente ibérica hacia el polo (IPC, por sus siglas en inglés) (Peliz et al., 2003). En el sur del golfo de Vizcaya esto implica circulación hacia el este (Figura 12) que se extiende hasta niveles del agua mediterránea e incluso más profundos (Pingree & Le Cann, 1990). Esta corriente también tiene un carácter estacional, siendo más intensa en invierno, cuando además se alinea con el régimen de corrientes de plataforma (González-Pola et al., 2022). Los procesos de afloramiento inyectan aguas profundas ricas en nutrientes en la superficie favoreciendo la producción primaria. La existencia de una topografía abrupta, como pueden ser los cañones submarinos, incrementa localmente los procesos de producción y con ello la respuesta ecológica (Botas et al., 1990; González-Quirós et al., 2003). Los cambios bruscos de dirección que presenta el talud continental en cañones y proximidades a cabos desestabilizan la corriente de talud, dando lugar a la generación de grandes remolinos (Pingree & Le Cann, 1992). Estos remolinos (llamados *eddies*) tienen tamaños del orden de decenas de kilómetros y tiempos de persistencia de meses, y derivan lentamente en regiones oceánicas. Los remolinos también se asocian a intensificación en los procesos de producción y juegan un papel importante en relación al transporte de larvas y juveniles de ciertas especies de peces (Sánchez & Gil, 2000).

En escalas temporales más cortas, la dinámica está muy influenciada por la marea semidiurna, muy intensa en el golfo de Vizcaya (Fanjul et al., 1997). Esto significa que en un punto cualquiera las corrientes describen una elipse completa cada ciclo de 25 horas aproximadamente. Las corrientes de marea se intensifican en zonas de topografía abrupta y en especial en los cañones, donde necesariamente se han de ajustar al eje del cañón, mostrando una fase hacia la cabecera del cañón y otra opuesta (Allen & de Durrieu de Madron, 2009). En la cabecera de algunos cañones, se ha observado gran actividad asociada a estas mareas, con aceleraciones súbitas de la corriente hasta más de 50 cm/s, procesos de resuspensión e inversiones térmicas (Díaz del Río, 2008; Sánchez et al., 2014). La interacción de las mareas produce además trenes de ondas internas, oscilaciones de la columna de agua mucho más rápidas (de minutos a horas) que pueden ser muy intensas y se han observado en algunos puntos concretos de la región (Azevedo et al., 2006; Sánchez et al., 2014a).



CAPÍTULO 2

Material y métodos

ROV Liropus IEO - Cañón de Avilés (Foto: IEO)

MATERIAL Y MÉTODOS

La presente tesis aborda dos trabajos de naturaleza diferente, pero conectados entre sí, para aplicar el conocimiento científico en la gestión del uso de los recursos marinos bajo un enfoque ecosistémico que garantice la protección de los valores geológicos y de la biodiversidad marina a través de la ordenación del espacio marítimo (Figura 13). Por ello, se han aplicado dos metodologías diferentes, una para la investigación de los fondos marinos y otra para la planificación espacial marina

En este capítulo se describe una metodología que ha permitido caracterizar los fondos de ambos sistemas de cañones con el fin de determinar la presencia de hábitats vulnerables y que puedan ser declarados como ZEC con un plan de gestión que garantice la protección de sus ecosistemas, y que se integrará en los planes de ordenación del espacio marítimo de la Demarcación Marina Noratlántica, de acuerdo con el RD 363/2017 OEM (BOE, 2017).

El sistema de cañones de Avilés fue declarado como LIC en 2016 en base a estos estudios y el sistema de cañones de Capbreton está actualmente en fase de propuesta para ser designado. La inclusión de estas zonas en la RN2000 contribuiría significativamente a alcanzar los objetivos finales de esta red, dando coherencia y conectividad a los hábitats más representativos y de interés comunitario, y protegiéndolos a través de los planes de gestión que serán incorporados en la PEM, con especial atención a su localización próxima al área transfronteriza con Francia. Sin la cartografía detallada de la presencia de estos hábitats protegidos, obtenida gracias a la investigación de los fondos marinos, se carecería de argumentos científicos para declarar las áreas como LIC o ZEC y protegerlas mediante la aplicación de la PEM. En el proceso de aplicación de la PEM es necesaria la participación de actores científicos que aporten este conocimiento y esta visión en el proceso, garantizando la protección ambiental en la explotación de los recursos del mar. En el presente capítulo se expone la metodología aplicada en la generación del conocimiento científico sobre los fondos marinos, y cómo este se ha aplicado en un proceso PEM con un claro carácter transfronterizo por su ubicación y el posible riesgo de afectación por actividades llevadas a cabo en aguas francesas con efectos sobre los ecosistemas vulnerables.

Si bien en cada uno de los capítulos posteriores se describe la metodología empleada, a continuación, se describen las principales técnicas y procesos empleados en el desarrollo de la investigación realizada en la presente tesis.

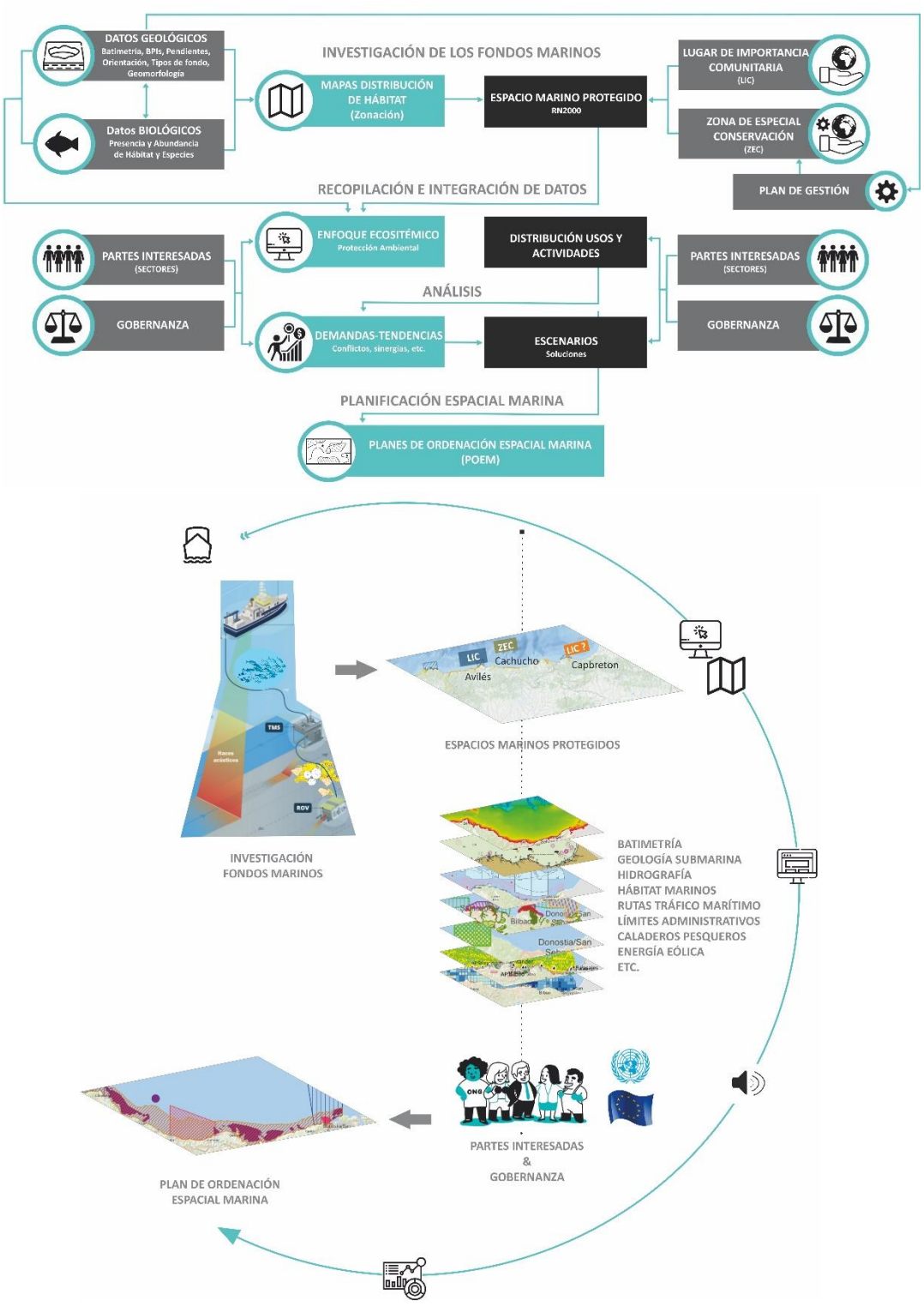


Figura 13. Metodología aplicada en la presente tesis para abordar el estudio y la caracterización de los fondos marinos, y su aplicación en la planificación espacial marina, según la metodología establecida para un proceso PEM.

2.1. Metodología para la caracterización geológica del fondo marino

Los cañones submarinos son uno de los ecosistemas más difíciles de estudiar debido a su compleja estructura geológica, sus particulares mecanismos de producción biológica, basados en una amplificación de la dinámica oceanográfica, y a que albergan variados tipos de hábitats con una gran diversidad de especies. En el caso concreto de los sistema de cañones submarinos de Avilés y de Capbreton, y por la complejidad que presentan debido a su extensión y profundidad, ha sido necesario recurrir al uso de diversas técnicas y equipamientos específicos que permitieran obtener información de estas zonas, por lo general inaccesibles a los métodos habitualmente empleados, por ejemplo, en el litoral o las plataformas continentales.

Además, el estudio de los hábitats marinos exige el empleo de diferentes aproximaciones metodológicas, ya que cada una de estas aproximaciones resuelve escalas de diferente rango para obtener una caracterización de los fondos marinos. Solo una aproximación holística de muestreo científico que combine varias metodologías (Figura 14) nos permite determinar con precisión la estructura y la distribución espacial de los hábitats marinos a partir del análisis fisiográfico, geomorfológico y sedimentológico.

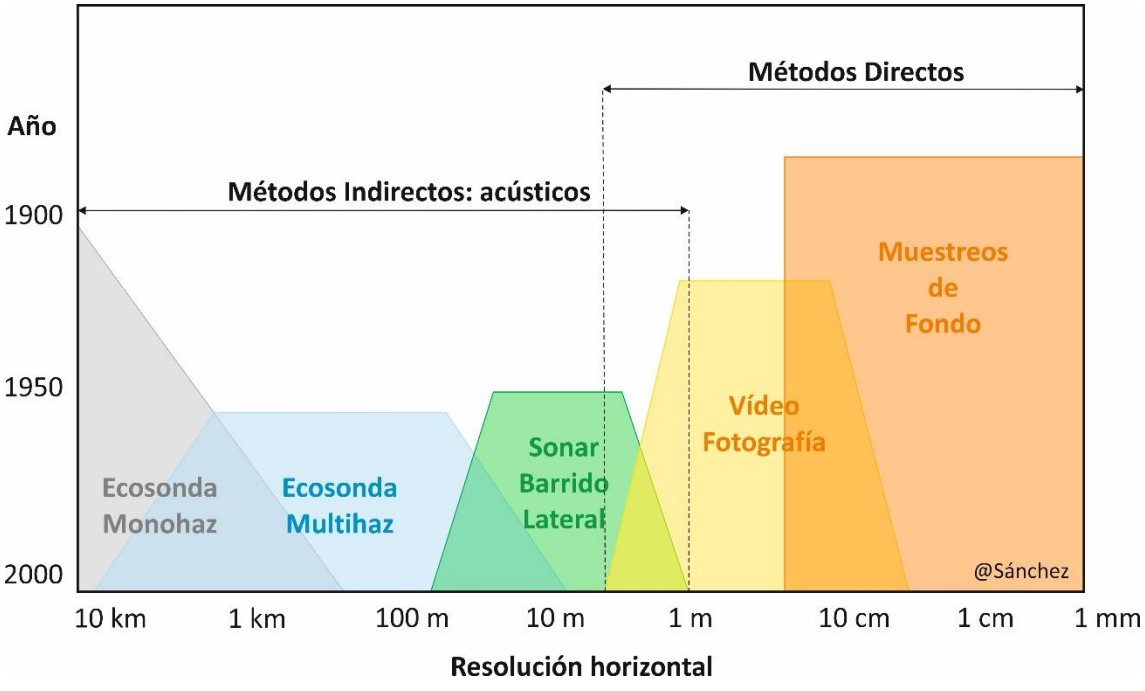


Figura 14. Diferentes escalas de la metodología de muestreo empleada para el estudio de ecosistemas y hábitats marinos.

Los datos utilizados han sido obtenidos mediante una amplia variedad de instrumentos, técnicas y metodologías, tanto directas como indirectas, que abarcan desde la toma de muestras mediante dragas hasta diversos sistemas geofísicos, y vehículos operados por control remoto (ROV) o remolcados de operación remota (ROTV) también conocidos como trineos fotogramétricos. A continuación, se explica la procedencia de los datos y las metodologías utilizadas para su obtención y posterior procesado e interpretación.

2.1.1. Métodos indirectos acústicos: Ecosondas multihaz

Las ecosondas multihaz son instrumentos de investigación oceanográfica empleados para obtener datos batimétricos de alta resolución y, simultáneamente, valores de reflectividad acústica del fondo oceánico. El funcionamiento de las ecosondas se basa en la emisión de un número variable de haces acústicos que, al alcanzar el fondo marino, son reflejados y devueltos a la superficie, donde son recibidos por los transductores instalados en el barco. A partir de la medida del tiempo que han tardado los haces de sonido en recorrer la distancia que separa el barco del fondo del mar, y de la corrección del perfil de velocidad de propagación del sonido en la columna de agua, se puede calcular la profundidad a la que se encuentra el fondo en el área que se va cubriendo en cada derrota del barco (Figura 15a).

La emisión de múltiples haces de sonido con un ángulo variable hace posible cubrir una franja de fondo oceánico de anchura variable y dependiente del ángulo de apertura de los haces y de la profundidad a la que se encuentra el fondo. De este modo, empleando un espaciado entre líneas de navegación adecuado, es posible obtener una cobertura del fondo oceánico del 100 %, sin la necesidad de realizar interpolaciones (Figura 15b) y con una resolución máxima al considerar mayor solape, ya que aumenta la densidad de puntos de muestreo.

Se define reflectividad o *backscatter* como la cantidad de energía con la que los haces de sonido emitidos, en este caso por la ecosonda multihaz, son devueltos a la superficie tras reflejarse en el fondo oceánico. Depende de la interacción de la energía del eco con la textura y las características del fondo oceánico, de modo que la intensidad del eco reflectado será función de la rugosidad del fondo y de su ángulo de incidencia. Cuanto más rugoso es el fondo oceánico, mayor es la reflectividad. Fondos con afloramientos rocosos, gravas, lechos de conchas, etc., producen una buena reflectividad; por otra parte, cuando la pendiente del fondo es abrupta, también aumenta su reflectividad. De forma simultánea a la adquisición de datos batimétricos (Figura 15c), la ecosonda multihaz toma información de la reflectividad del fondo

oceánico, que es incorporada a los archivos brutos que la misma registra a razón de un valor de reflectividad por cada haz de sonido. Esta información es utilizada para la clasificación de fondos, junto con el análisis sedimentológico realizado de las muestras de dragado del fondo y el análisis de los perfiles sísmicos y vídeos.

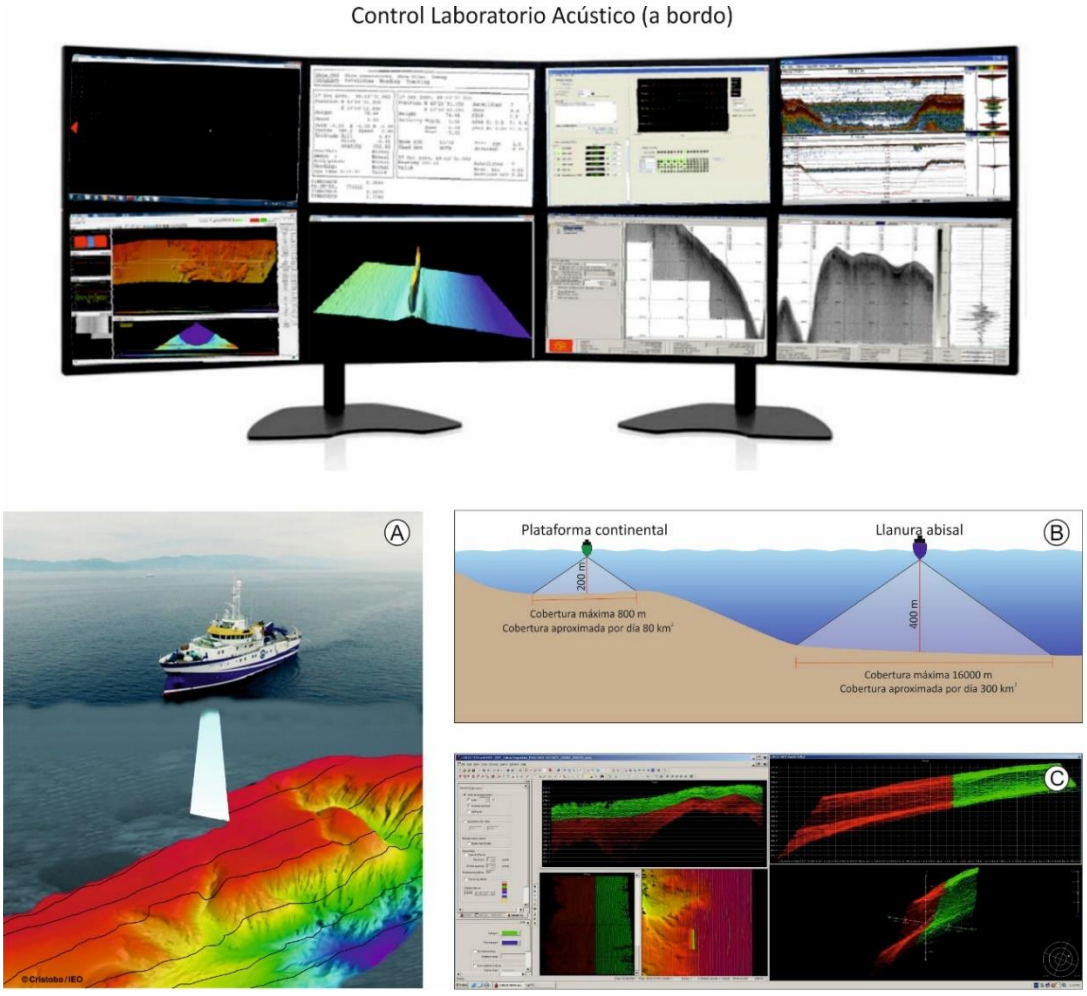


Figura 15. Pantallas de control en el laboratorio acústico durante la adquisición de datos en una campana oceanográfica. A) Funcionamiento de la ecosonda multihaz: adquisición batimetría en el sistema de cañones de Avilés. B) Cobertura del fondo oceánico en función de la profundidad. C) Sistema de adquisición SIS (Seafloor Information System) para la ecosonda EM-710 Kongsberg.

MÉTODOS INDIRECTOS ACÚSTICOS: SONDA PARAMÉTRICA DE ALTA RESOLUCIÓN (TOPAS)

Las sondas paramétricas TOPAS (TOpographic PArametric Sonar) basan su funcionamiento en la sísmica por reflexión continua, generando ondas acústicas de baja frecuencia relativa a través de la interacción no lineal, en los primeros metros de la columna de agua, de dos haces de sonido de alta frecuencia. Es lo que se denomina efecto

paramétrico (Figura 16), que hace que dos haces de baja frecuencia estén separados entre sí por un incremento de frecuencia próximo a la frecuencia primaria media. La interacción entre estos dos haces acústicos da lugar a dos frecuencias secundarias que son la suma y la diferencia, respectivamente, de las frecuencias primarias generadas por el emisor. La señal resultante tiene una banda de frecuencias relativamente amplia y un perfil de haces estrecho (próximo a las señales de alta frecuencia transmitidas por los transductores) sin lóbulos laterales, que aumenta la resolución del sistema. Todo esto hace que la resolución espacial en los perfiles de sedimento sea muy elevada. Los haces estrechos también dan como resultado unos niveles de reverberación bajo y, por tanto, mayor capacidad de penetración de la señal.

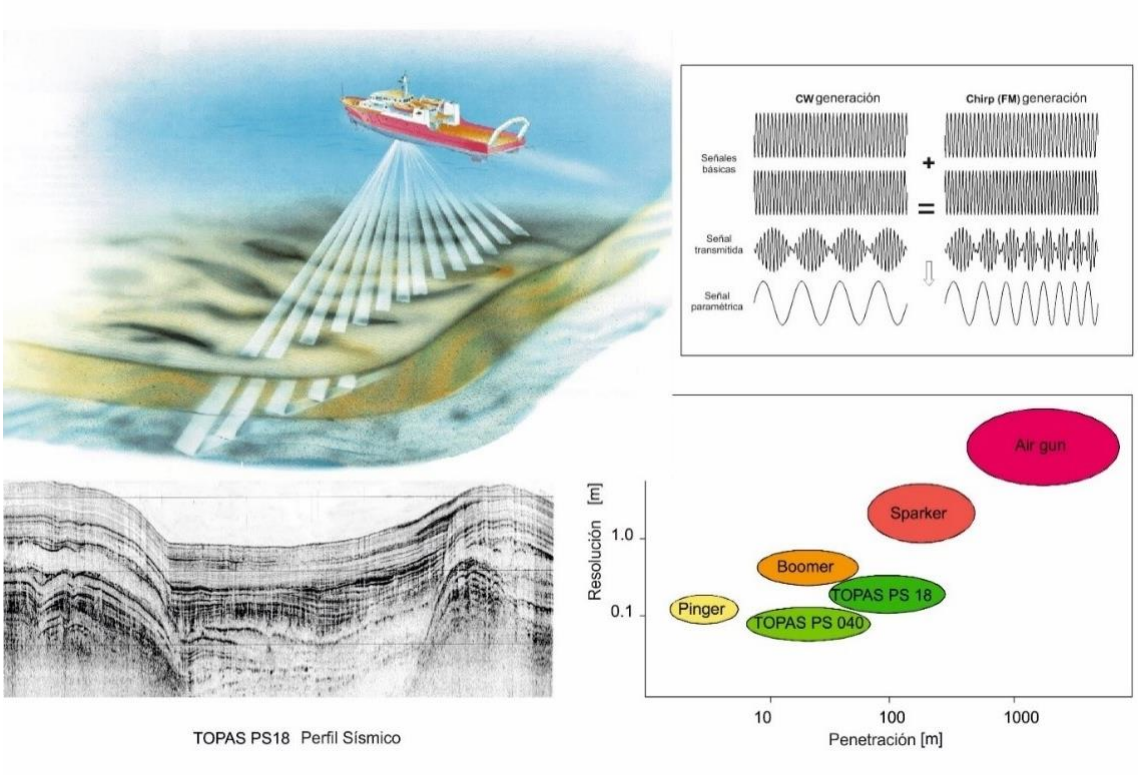


Figura 16. Funcionamiento de la sonda paramétrica TOPAS (TOpographic PArametric Sonar): efecto paramétrico, perfil sísimico obtenido y rango de operación vs. penetración del sistema. Fuente: documentación técnica de la ecosonda EM-710 Kongsberg.

Con esta sonda se obtienen perfiles sísmicos de reflexión monocanal de alta resolución de las primeras capas del fondo marino, a partir de los cuales se analiza la estructura subsuperficial y las características del subsuelo. Estos perfiles permiten obtener información sobre la estratigrafía de las unidades sedimentarias más recientes y analizar estructuras geológicas de diverso tipo generadas por procesos

geológicos diferentes, como pueden ser los escapes de fluidos a través de los estratos sedimentarios.

MÉTODOS DIRECTOS: MUESTREO CON DRAGAS

La toma de muestras de fondo se realizó con dragas de sedimento tipo Shipek y Smith McIntyre para sustratos blandos y dragas de roca para sustratos duros y sedimentos semiconsolidados (Figura 17). La ubicación de las estaciones de muestreo se definió a partir del estudio batimétrico y de la reflectividad y morfología del fondo marino, con el objetivo de adquirir muestras que fueran representativas de las diferentes estructuras morfológicas del fondo.

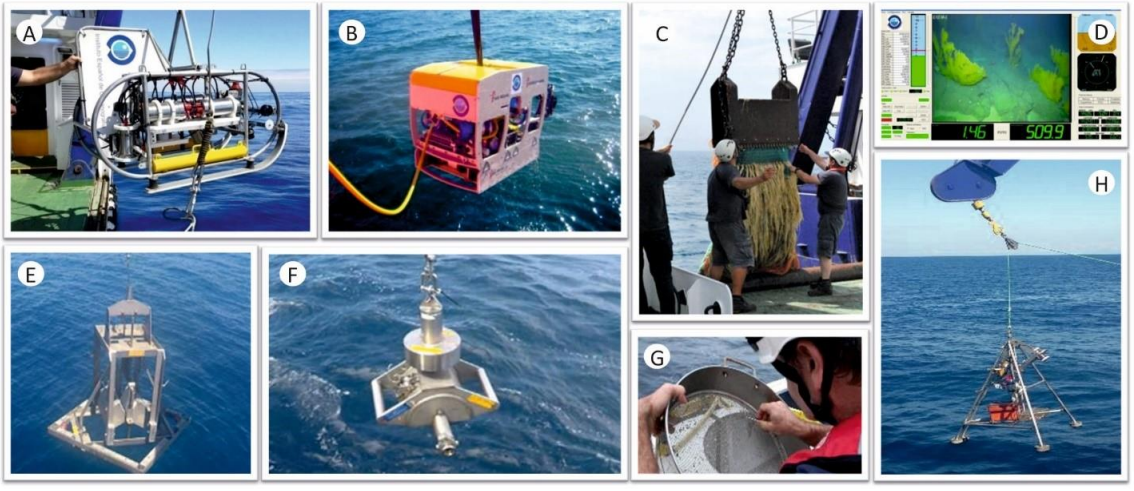


Figura 17. A) Vehículo remolcado de operación remota (ROTV) Politolana. B) Vehículo de operación remota (ROV) Liropus 2000. C) Draga de roca. D) *Software* de control del ROTV Politolana. E) Draga de sedimento Smith McIntyre. F) Draga de sedimento Shipek. G) Tamizado de muestras de sedimento. H) Plataforma multipropósito *lander* Geodia.

MÉTODOS DIRECTOS NO INVASIVOS: MUESTREO CON VEHÍCULOS SUBMARINOS Y PLATAFORMAS MULTIPROPÓSITO

Se realizaron distintos transectos de observación directa con vehículos submarinos: el ROV Liropus 2000, operado remotamente; y el vehículo remolcado de operación remota ROTV Politolana (Figura 17). El ROV Liropus 2000 es un sistema diseñado para la obtención de imágenes en alta definición y recogida de muestras sólidas hasta 2000 m de profundidad, tanto sobre el fondo como en la columna de agua. Está equipado con cinco cámaras de vídeo para la observación y pilotaje (una de ellas de alta definición, Kongsberg OE14-502A, y otra para trabajar en escasas condiciones de luz), una sonda CTD (conductividad, temperatura y profundidad, por sus siglas

en inglés) Seabird 37, un altímetro y una baliza acústica MST 324. Para la manipulación y toma de muestras se montaron dos brazos hidráulicos, un colector por succión y un cajón móvil para recoger muestras. Fue empleado como elemento prioritario en la realización de transectos visuales directos en las campañas realizadas en el sistema de cañones de Avilés. El ROTV Politolana, diseñado en el IEO de Santander (Sánchez & Rodríguez, 2013), es un trineo fotogramétrico remolcado capaz de operar hasta una profundidad de 2000 m. Dispone de una cámara de vídeo de alta definición (1920 × 1080 píxeles = 2.07 Mpx de resolución óptica) asistida por dos focos LED DSPL Sphere (6300 × 2 lúmenes), de un conjunto de 2 punteros láser verdes con una separación de 20 cm para proceder a la calibración del escalado de las secuencias, y de un sistema de fotogrametría HD para obtener el solapamiento de imágenes de alta resolución necesario para el análisis fotogramétrico.

El *lander* Geodia (Figura 17), diseñado en el IEO de Santander, es una plataforma multipropósito sumergida utilizada como sistema de muestreo cualitativo y no intrusivo que se posiciona en el fondo (hasta un máximo de 1000 m) y se deja trabajando de manera estática (de ahí su denominación *lander* o 'aterrizador') y de forma autónoma durante 24 horas. Dispone de una cámara de alta resolución que dispara según intervalos constantes de 2 minutos (configurable) y de un sistema de cebo para atraer a la fauna móvil de la zona de estudio. Está concebido principalmente para el muestreo de especies bentónicas móviles que son atraídas mediante el cebo, pero también, en el caso de los campos de *pockmarks*, es conveniente planificar muestreos dentro y fuera de las depresiones para poder estimar si existen diferencias significativas en la composición faunística del interior y exterior de las mismas. Debido al desconocimiento actual sobre la dinámica de estas estructuras geológicas, es recomendable utilizar estas plataformas para intentar comprender sus mecanismos de expulsión de fluidos y la presencia de especies móviles en su interior.

Los muestreos con el ROV Liropus, el ROTV Politolana y el *lander* Geodia se establecieron a partir de la información disponible sobre las características geomorfológicas y sedimentarias que se obtuvieron previamente, durante los estudios de geofísica.

TRABAJO DE GABINETE: PROCESADO E INTEGRACIÓN DE LOS DATOS

Los datos empleados en esta tesis proceden de varias campañas de investigación oceanográficas (Tabla 1). El estudio geofísico llevado a cabo durante las mismas consistió en el levantamiento sistemático de batimetría de alta resolución y en el registro de la respuesta acústica del fondo (reflectividad), utilizando para ello la ecosonda multihaz EM-300 para la zona del sistema de cañones de Avilés y la EM-710

para el sistema de cañones de Capbreton, ambas de Kongsberg y con una frecuencia de transmisión de 30 kHz, lo que permitió obtener una resolución espacial de 75 m en las zonas más profundas y hasta de 5 m en las áreas intermedias y someras.

En paralelo a la adquisición de datos con dicha ecosonda, se obtuvieron perfiles de sísmica de alta resolución con la ecosonda paramétrica TOPAS PS 018, también de Kongsberg, con una frecuencia de transmisión de 3,5 kHz que combina muy buena penetración con una muy alta resolución, obteniendo una resolución vertical máxima de 0.2 ms, y horizontal de hasta 0.3 m. La capacidad máxima de penetración en el subsuelo, variable según el tipo de material, es de 150 m.

Tabla 1. Campañas oceanográficas realizadas en la zona de estudio. Metodologías de muestreo empleadas en la presente tesis: EM: ecosonda multihaz, TP: sonda paramétrica TOPAS, DF: draga de fango, DR: draga de roca, ROVT: vehículo remolcado de operación remota, ROV: vehículo operado remotamente, LA: plataforma multipropósito *lander*.

Nombre	Fechas	Buque	Metodologías muestreo
INDEMARES_AVILES 0410	Abril 2010	*Vizconde de Eza*	EM, TP, DF, DR, ROVT
INDEMARES_AVILES 0511	Mayo 2011	*Vizconde de Eza*	EM, TP, DF, DR, ROVT, LA
INDEMARES_AVILES 0412	Abril 2012	*Ramón Margalef*	EM, TP, ROVT, ROV
INDEMARES_AVILES 0912	Sept. 2012	*Angeles Alvariño*	EM, TP, DF, ROVT, ROV
INTEMARES_CAPBRETON 0619	Junio 2019	*Ramón Margalef*	EM, TP, DF, DR, ROVT
INTEMARES_CAPBRETON 0620	Junio 2020	*Ramón Margalef*	EM, TP, DF, DR, ROVT, LA

Gran parte del trabajo realizado en esta tesis se ha centrado en el empleo de estas dos técnicas geofísicas, que permiten obtener información relativa a las características del lecho marino. Ambas generan grandes volúmenes de datos: a título indicativo, las ecosondas multihaz recogen una media de 7 Mb por hora de trabajo. Por tanto, es imprescindible un programa específico que permita trabajar con los datos brutos tanto de ecosonda multihaz como de Topas para su procesado.

Los datos batimétricos y de reflectividad adquiridos han sido procesados con la aplicación informática Caris Hips V.7.1. y 11.0. El procesado de los datos multihaz consta principalmente de tres pasos fundamentales: corrección de sondas, limpieza y chequeo de las sondas y visualización de las mismas, para obtener una malla de puntos X, Y, Z, a partir de la cual construir una superficie CUBE (Estimación Combinada de Incertidumbre y Batimetría, por sus siglas en inglés) y generar modelos digitales del terreno y diferentes cartografías. Los datos sísmicos han sido analizados con el

software de interpretación geocientífica del subsuelo Kingdom Suite, donde se creó un proyecto en el que se recogen todos los perfiles georreferenciados.

Con las muestras de sedimento obtenidas se llevó a cabo el análisis granulométrico y el del contenido en materia orgánica (Rodríguez et al., 2021). El análisis granulométrico de la fracción inferior a 2000 µm se realizó con un analizador de partículas por difractometría láser Beckman Coulter LS13 13 320 con módulo de procesado en suspensión acuosa.

La fracción superior a 2000 µm se analizó con tamizado en seco. La caracterización de la distribución granulométrica fue realizada según Folk (1974) usando el *software* GRADISTAT (Blott & Pye, 2001). Debe tenerse en cuenta que la determinación mediante la metodología de difracción láser puede sobreestimar el tamaño de partícula en comparación con la metodología basada únicamente en tamizado (Rodríguez & Uriarte, 2009). Por ello, los tamaños determinados por difracción láser se transformaron de acuerdo con la Tabla 2.

Tabla 2. Equivalencias entre tamaño de partículas (µm) determinadas por difracción láser y tamices usada en este estudio para la transformación de tamaños de grano.

Difracción láser	Tamices
0,375	0,34
4	3,55
6	5,31
8	7,06
11	9,68
16	14,04
22	19,26
31	27,07
44	38,31
63	54,70
90	77,93
125	107,95
180	155,00
250	214,72
355	304,06
500	427,09
710	604,79
1000	849,51
1400	1186,14

El contenido de materia orgánica total fue determinado gravimétricamente mediante ignición a 450 °C durante 5 horas (Gómez-Ballesteros et al., 2020; Gómez-Ballesteros et al., 2021a; Rodríguez et al., 2021).

Los datos obtenidos del análisis granulométrico de las muestras de sedimento han sido utilizados para la cartografía de los tipos de fondo y el estudio de las comunidades macroinfaunales en aquellos de naturaleza sedimentaria (Altuna & Ríos, 2014; Rodríguez et al., 2021), y los obtenidos de los muestreos de sustrato duro o semiconsolidado se han dirigido al estudio de las comunidades epibentónicas de fondos rocosos (Ríos et al., 2020), de las estructuras biógenas como organismos bioconstructores de arrecifes de aguas frías (Sánchez et al., 2014b) y para la cartografía de los tipos de fondo. Estos estudios han sido complementados con las imágenes del fondo obtenidas con los muestreos no invasivos (Rodríguez-Basalo et al., 2022). El uso de estos modernos sistemas de muestreo,

como los ROV y ROTV, es de gran utilidad y complementa en gran medida la información obtenida por los métodos anteriores.

La necesidad de integración de datos de diferente naturaleza y el carácter típicamente geográfico de los datos señalados demandan un tratamiento que contemple su dimensión espacio temporal (Galparsoro, 2011). En este sentido, se ha utilizado el *software* ArcGIS (10.8) de Sistemas de Información Geográfica (GIS, por sus siglas en inglés), que engloba una serie de herramientas para realizar las funciones de gestión de datos cartográficos, gestión de bases de datos geo-referenciados, consultas, representaciones gráficas y cartográficas, y análisis estadísticos y espaciales. Por tanto, los GIS constituyen una herramienta especialmente adaptada a las necesidades planteadas con anterioridad.

La integración e interpretación conjunta (Figura 18) de la batimetría y de los perfiles sísmicos de alta resolución obtenidos ha permitido elaborar un análisis de la geomorfología y del tipo de fondo. Para completar este estudio, se ha dispuesto del análisis sedimentológico de las numerosas muestras adquiridas durante las campañas y de las imágenes del fondo, con la idea de dar respuesta a las necesidades de conocimiento geológico de las zonas de estudio, y que se concretan en el análisis fisiográfico, geomorfológico y sedimentológico, lo que permite caracterizar la naturaleza y composición del suelo y subsuelo marinos, así como los factores que condicionan la distribución espacial de los hábitats marinos.

Así se han caracterizado los principales dominios fisiográficos y geomorfológicos que configuran los complejos sistemas de cañones submarinos de Avilés (Capítulo 3) y Capbreton (Capítulo 4). Como resultado del procesado, el análisis y la interpretación de los datos adquiridos, se ha generado una elevada producción cartográfica con la elaboración de mapas temáticos: mapas batimétricos, mapas de pendientes, mapas de rugosidad, mapas de isóbatas, modelos digitales del terreno, diagramas tridimensionales, mapas de distribución de los diferentes tipos de fondo, mapas geomorfológicos, etc. El conocimiento morfosedimentario del fondo es decisivo tanto en la selección de puntos de muestreo biológico como en la realización de la cartografía bionómica o mapas de distribución de los hábitats bentónicos, a partir de la cual se establecen los límites de los espacios marinos a proteger.

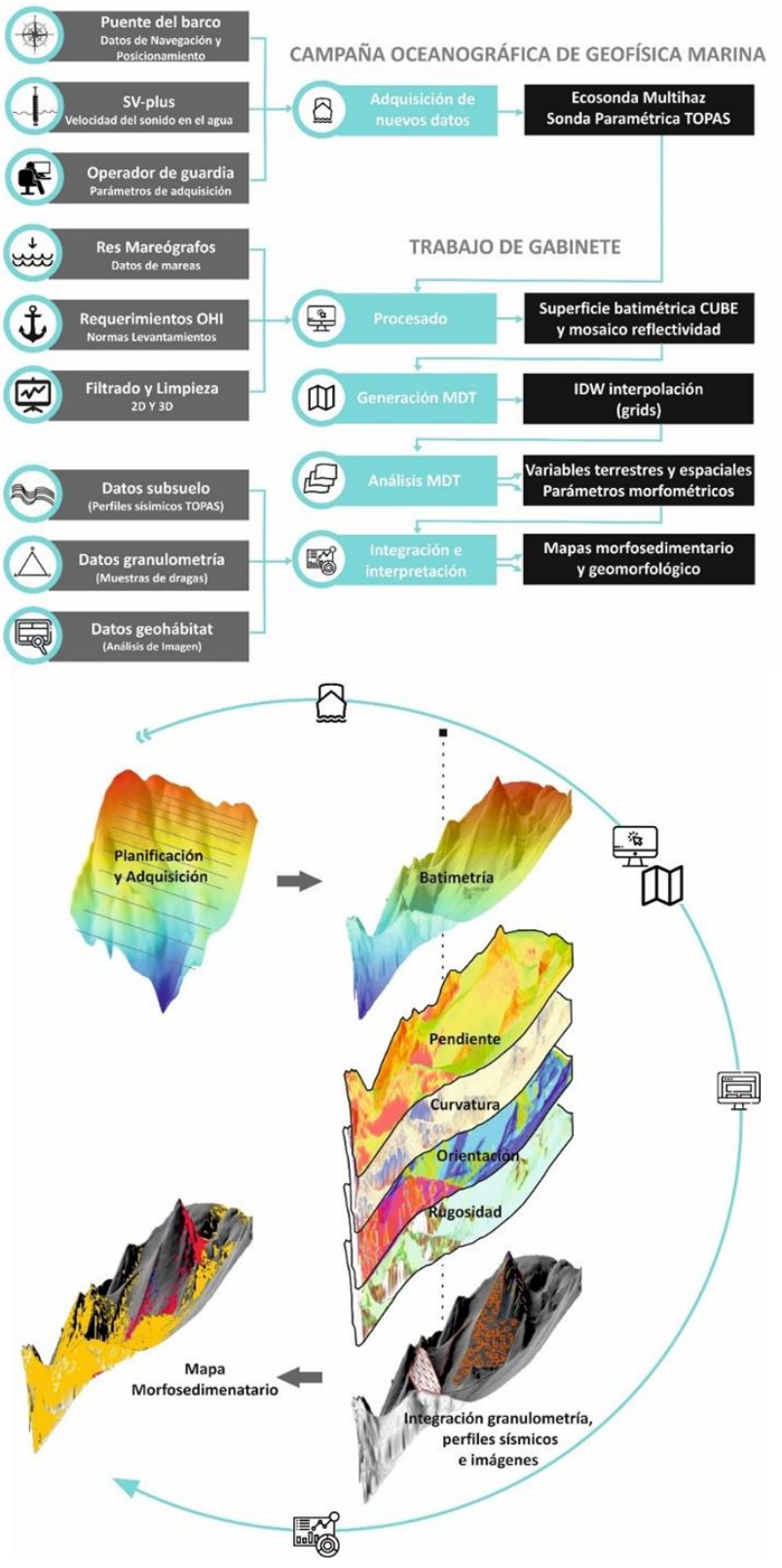


Figura 18. Metodología aplicada para el estudio y la caracterización de los fondos marinos.

2.2. Metodología para la planificación espacial marina

La PEM u OEM es un proceso público para analizar y asignar la distribución espacial y temporal de las actividades humanas en zonas marinas a fin de alcanzar los objetivos ecológicos, económicos y sociales que normalmente se especifican por medio de un proceso político. Un proceso PEM se caracteriza por estar basado en un enfoque ecosistémico, que permita equilibrar metas y alcanzar los objetivos planteados en los tres ejes en aras de un desarrollo sostenible, así como su integración a través de sectores y agencias, y entre diferentes niveles de gobierno, mediante un modelo adaptativo y un enfoque estratégico orientado en el largo plazo, y con la participación de los actores involucrados a lo largo de todo el proceso (Figura 19).

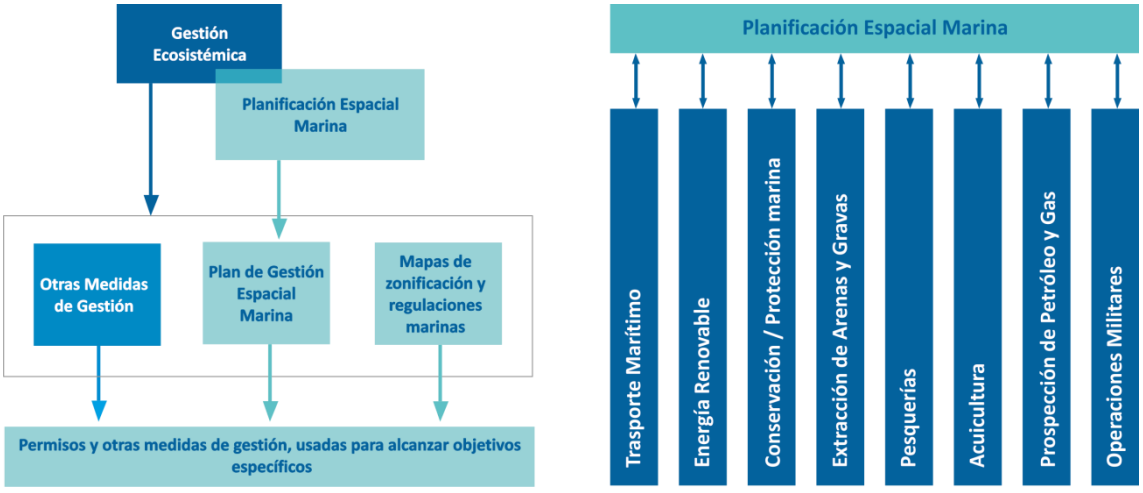


Figura 19. Resultados de la planificación espacial marina y planificación por sector. Modificado de Ehler & Douvere, 2009.

El enfoque ecosistémico y la consecución de los objetivos ecológicos o ambientales de la PEM crean la necesidad de disponer de un conocimiento exhaustivo y profundo sobre los ecosistemas marinos, su distribución y funcionamiento, y las presiones a las que están sometidos. Este conocimiento, que será la base para la toma de decisiones por parte de las autoridades competentes, solo puede ser generado a través de la investigación científica. Es en este punto donde reside la contribución a la PEM llevada a cabo en el presente trabajo, poniendo de manifiesto la relevancia de la ciencia aplicada al servicio de la sociedad para lograr los objetivos ecológicos de la PEM.

La DOEM se traspuso al ordenamiento español a través del Real Decreto 363/2017, de 8 de abril , por el que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo (BOE, 2017), vinculado a la Ley 41/2010 de Protección del Medio Marino

(BOE, 2010), por lo que, para cada una de las cinco demarcaciones marinas españolas se elaborará un POEM que, de acuerdo al RD 363/2017 OEM (BOE, 2017), tendrá en cuenta las interacciones tierra-mar, las actividades y usos existentes y futuros pertinentes, sus repercusiones en el medio ambiente marino y, en especial, sobre las especies y espacios protegidos, y los recursos marinos. Los POEM se aplicarán a todas las aguas marinas españolas, incluidos el lecho, el subsuelo y los recursos naturales bajo soberanía o jurisdicción española, quedando comprendidos en estas aguas el mar territorial, la ZEE y la plataforma continental (Figura 20). De ahí, la importancia sobre el conocimiento no solo del lecho, la columna de agua y los recursos vivos, sino también del subsuelo marino y los recursos no vivos, como minerales, áridos o combustibles fósiles.

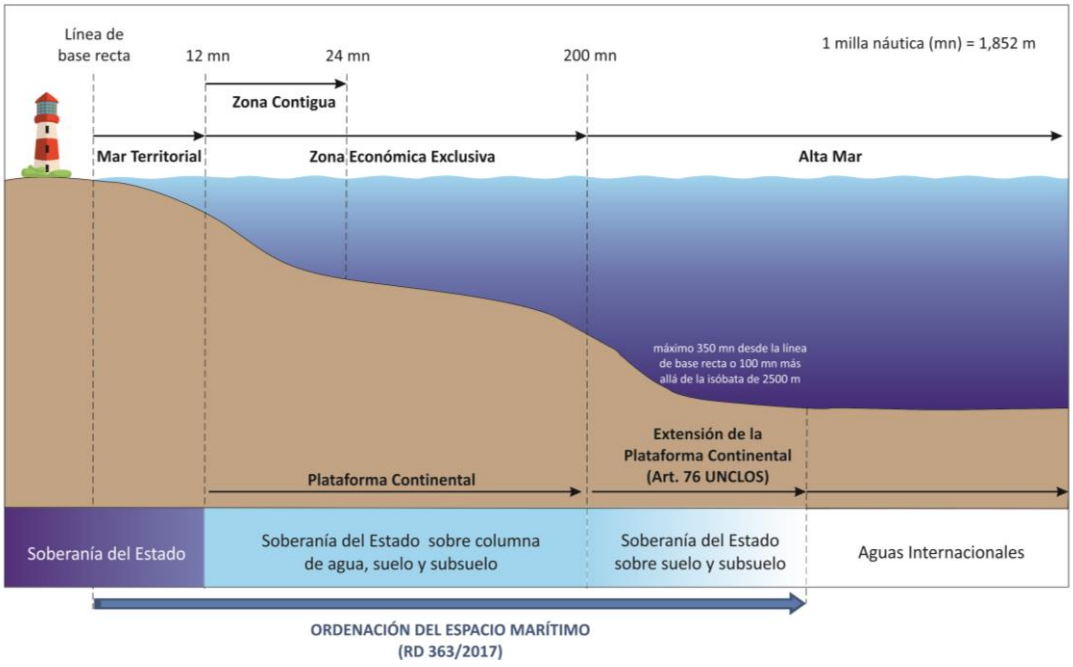


Figura 20. Límites administrativos y territoriales, y ámbito de aplicación de la DOEM.

Asimismo, la DOEM (BOE, 2017) promueve la mejora de la cooperación transfronteriza de conformidad con las disposiciones pertinentes de la Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar o UNCLOS, por su siglas en inglés (UN, 1982) y, en su artículo 13 indica que, en el proceso de ordenación y gestión, los Estados miembros cuyas aguas marinas sean contiguas cooperarán entre sí con el fin de garantizar que los POEM sean coherentes y se coordinen en toda la región marina afectada, teniendo en cuenta, en particular, las cuestiones de carácter transnacional. Esta importancia de la cooperación internacional en los procesos de OEM ha potenciado en estos últimos años numerosas iniciativas transfronterizas entre

Estados miembros ribereños, como es el caso de España con Francia, Portugal e Italia, y con terceros países como Marruecos y Argelia, llevadas a cabo a través de proyectos financiados por la Dirección General de Asuntos Marítimos y Pesca de la UE (DG MARE, Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries) (Tabla 3) cuyo desarrollo y resultados parciales son presentados en la presente tesis.

Tabla 3. Proyectos realizados para la implementación de la Directiva marco para la Ordenación del Espacio Marítimo en áreas transfronterizas, tanto en la cuenca Atlántica como en la Mediterránea.

Nombre	Fechas	Entidad Financiadora	Referencia
SIMNORAT	2017-2019	DG MARE (CE)	EASME/EMFF/2015/1.2.1.3/03/SI2.742089
SIMWESTMED	2017-2019	DG MARE (CE)	EASME/EMFF/2015/1.2.1.3/02/SI2.742101
SIMAtlantic	2019-2021	DG MARE (CE)	EASME/EMFF/2018/1.2.1.5/001
MSPMED	2020-2022	DG MARE (CE)	EASME/EMFF/2018/1.2.1.8

En estos proyectos piloto, en los que se han considerado casos de estudio transfronterizos y que se abordarán más adelante en este trabajo, mediante la búsqueda de sinergias entre ellos y alineando objetivos y beneficios, se persigue que haya una planificación eficaz del espacio marítimo, además de integrar la gestión de las zonas costeras. Para ello, se ha aplicado en los diferentes proyectos la metodología clásica propuesta por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental de la Unesco (COI) en «Planificación Espacial Marina: Una guía paso a paso hacia la Gestión Ecosistémica» (Ehler & Douvere, 2009). En ella se establece un enfoque secuencial de la PEM, que va desde el establecimiento de la autoridad, pasando por la planificación y la aplicación, hasta el seguimiento y la evaluación (Figura 21). Este enfoque conceptualmente claro, sencillo y gradual permite implementar y aplicar la PEM, y ofrece a los países un contexto operativo para mantener el valor de su biodiversidad marina a la vez que establece el uso sostenible del potencial económico de sus océanos, aunque su aplicación práctica entraña una gran complejidad.

En el desarrollo de los casos de estudio que se han abordado en estos proyectos, no se han podido aplicar los pasos completos, ya que la planificación, implementación, monitorización y evaluación de los planes corresponde a las autoridades competentes. Sin embargo, se ha querido ofrecer el enfoque completo para que sea posible entender en su globalidad un proceso PEM, y no solo presentar de manera aislada los estudios correspondientes a la generación de conocimiento científico extraídos de un contexto general PEM.

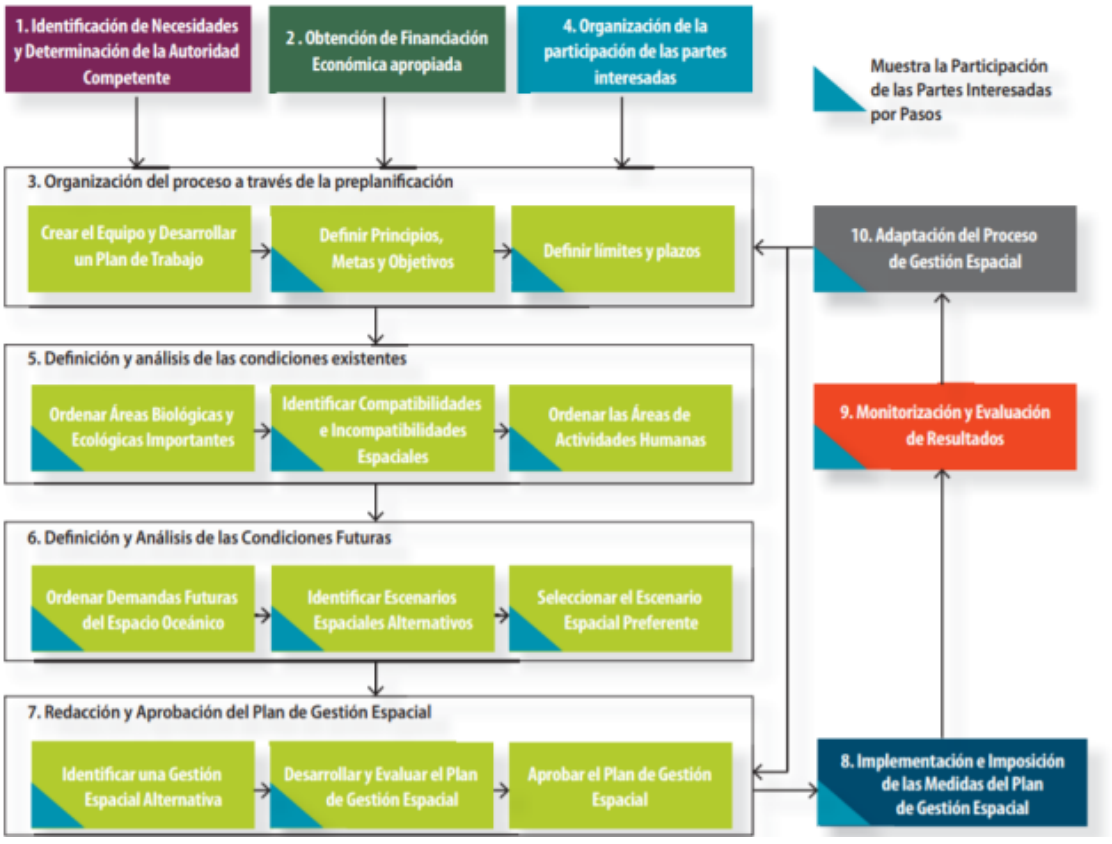


Figura 21. Enfoque secuencial (paso a paso) de la planificación espacial marina o PEM (Ehler & Douvere, 2009).

Por ello, la metodología (Figura 22) se ha centrado en los pasos necesarios para generar el conocimiento científico, base para la toma de decisiones en el diseño de los planes por parte de las correspondientes autoridades. En este asunto, la metodología aplicada y las diferentes fuentes de información para la investigación realizada han sido la revisión bibliográfica de las normativas europeas y españolas, y los criterios de análisis establecidos en los proyectos transfronterizos, llevados a cabo según los pasos que se describen a continuación:

- Establecimiento de una metodología conceptual a partir de la revisión bibliográfica y del fondo documental existente. Se diseñó un marco conceptual para examinar los aspectos metodológicos de los procesos en curso de ordenación del territorio de los países implicados y debatir los principales obstáculos, cuellos de botella y la falta de coherencia a la hora de abordar la operatividad de la Directiva MSP (EU, 2014). Para ello se llevó a cabo un análisis DAFO (para identificar las debilidades, amenazas, fortalezas y oportunidades) basado en la metodología de Karppi et al., 2001.

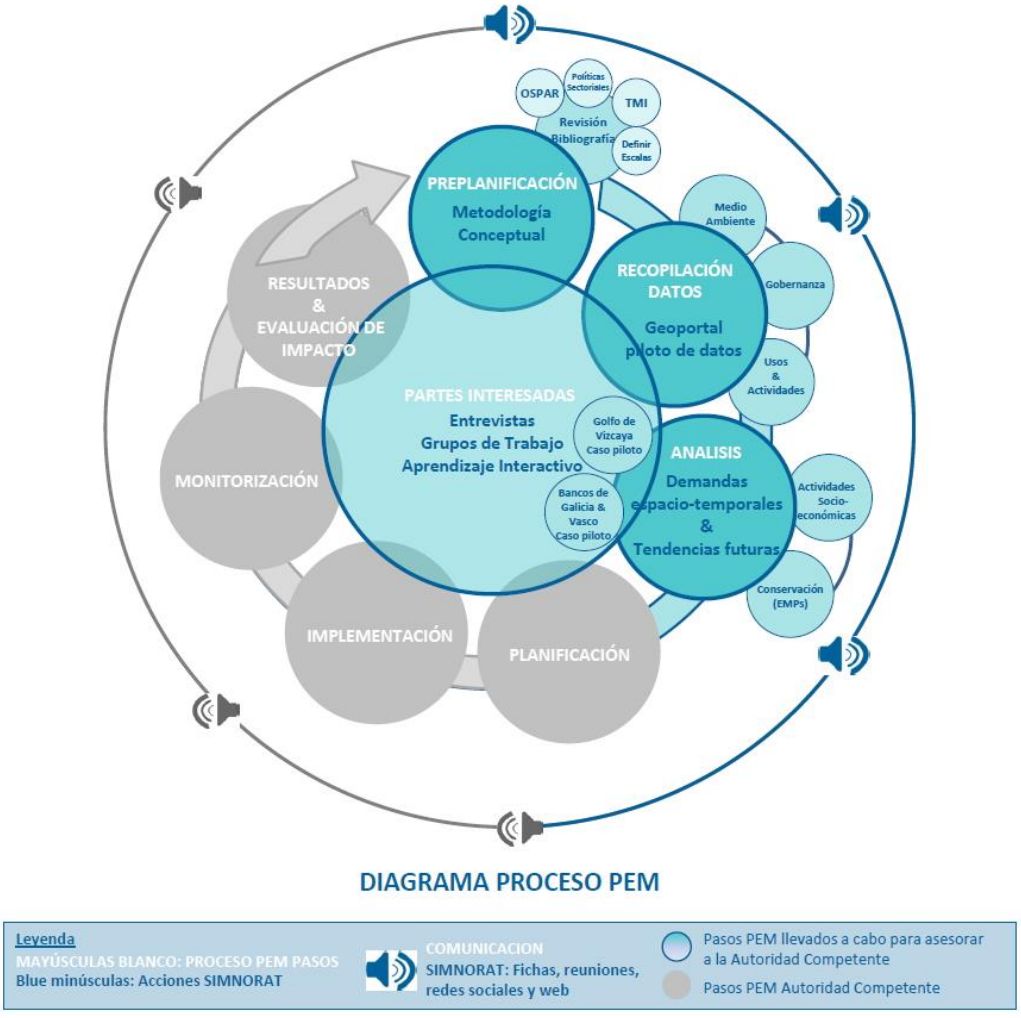


Figura 22. Diagrama de la metodología aplicada en un proceso PEM. En color azul, los pasos necesarios para generar el conocimiento científico que sea la base para la toma de decisiones a la hora de que las correspondientes administraciones establezcan los planes, y que se han llevado a cabo en la presente tesis. En color gris, los pasos correspondientes a la planificación, implementación, monitorización y evaluación de los planes que no fueron implementados en los proyectos piloto, ya que corresponden a las autoridades competentes.

- Recopilación de los datos disponibles para la caracterización ambiental de las zonas, los usos y las actividades. El uso y la puesta en común de los datos es necesario para definir unos planes de ordenación del espacio marítimo coherentes a lo largo de las cuencas marítimas; además, la puesta en común de datos e información debe plantearse a nivel transfronterizo, para tener en cuenta las cuestiones de carácter transnacional. Así, se realizó una revisión de los datos públicos e institucionales disponibles de gobernanza (límites de las aguas jurisdiccionales, normativa a nivel internacional, nacional, regional y local,

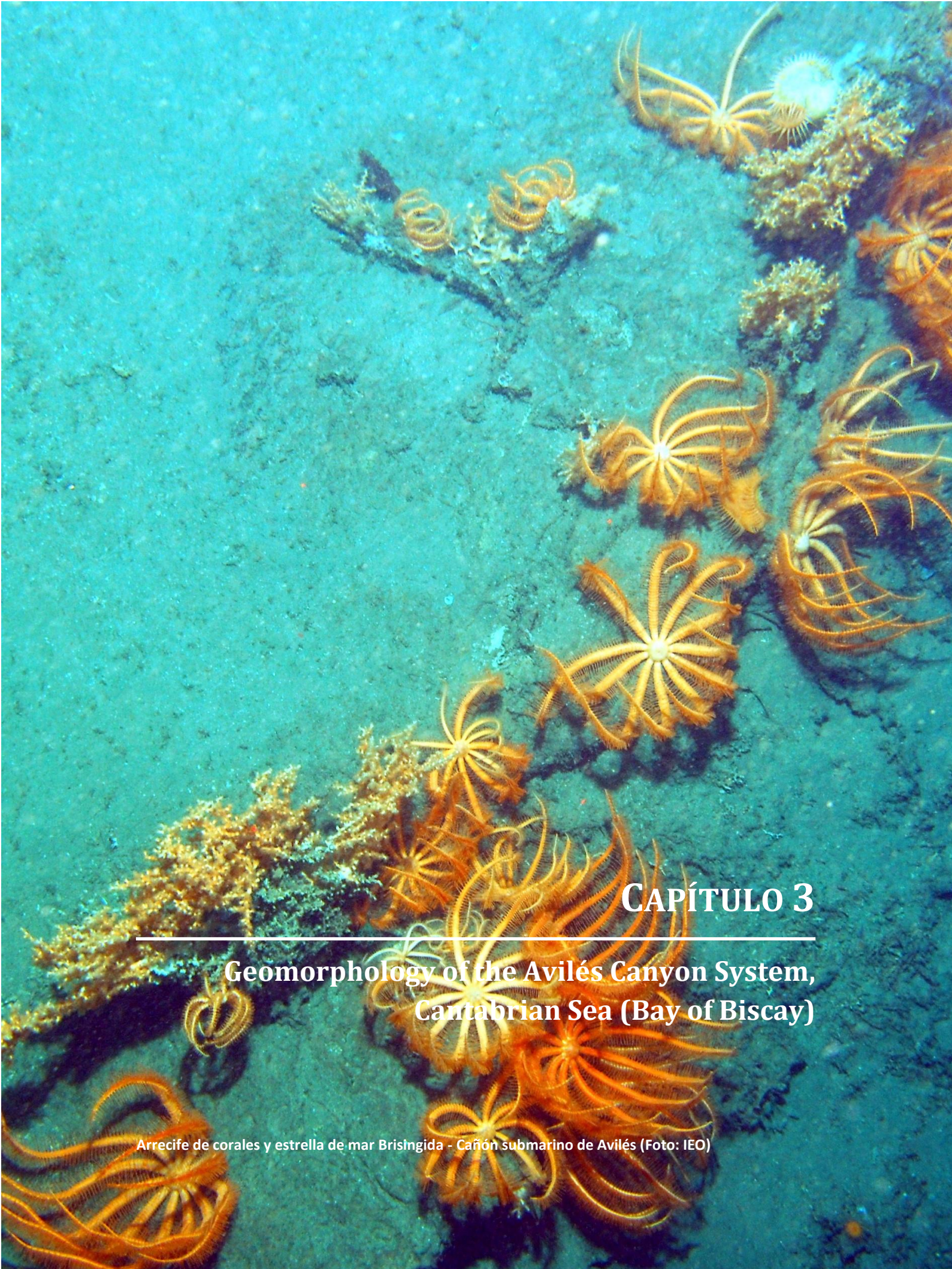
etc.), de los datos medioambientales (caracterización de los ecosistemas y presiones, etc.) y de las actividades humanas (usos, conflictos, presiones, etc.). A partir de los datos recogidos, se elaboró un inventario de los datos relevantes disponibles para la ordenación del espacio marítimo en la cuenca del Atlántico Norte, que se procesó y almacenó en SIMNORAT, un portal de datos común para los tres países (https://simnorat.mspdata.eu).

- Análisis espacio-temporal de los usos y actividades. La protección de la biodiversidad marina y las diferentes categorías de espacios marinos protegidos podrían entrar en competencia por el espacio con las actividades marítimas. Por ello se llevó a cabo un análisis específico para investigar las demandas actuales y futuras de los sectores marítimos, identificando sus intereses e incluyendo la conservación marina.

- Identificación de conflictos, sinergias y demandas espaciales a través de la participación activa de los agentes interesados. La participación de todas las partes involucradas en el proceso de la PEM es fundamental a lo largo de todas las etapas, ya que todas son una fuente de información única que representa los intereses de cada sector, lo que pone de manifiesto la presencia de conflictos, demandas o sinergias. Esto se abordó mediante diferentes metodologías participativas como entrevistas, *workshops*, etc.

- Evaluación de los resultados e integración de los mismos en una síntesis de lecciones aprendidas.

La síntesis de todo el trabajo realizado responde a la demanda de aplicar la experiencia obtenida a través de estos proyectos piloto en la implementación de una PEM y obtener unos resultados operativos de la misma. Esto implica una cooperación transfronteriza entre todas las partes y que revierta y alimente los futuros POEM de cada país.



CAPÍTULO 3

Geomorphology of the Avilés Canyon System, Cantabrian Sea (Bay of Biscay)

Arrecife de corales y estrella de mar Brisingida - Cañón submarino de Avilés (Foto: IEO)

GEOMORPHOLOGY OF THE AVILÉS CANYON SYSTEM, CANTABRIAN SEA (BAY OF BISCAY)

Este capítulo es una versión editada del artículo de investigación publicado en *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, 106, pp. 99-117, por María Gómez-Ballesteros, María Druet, Araceli Muñoz, Beatriz Arrese, Jesús Rivera, Francisco Sánchez, Javier Cristobo, Santiago Parra, Ana García-Alegre, César González-Pola, Jorge Gallastegui y Juan Acosta en 2014 con el título «Geomorphology of the Avilés Canyon System, Cantabrian Sea (Bay of Biscay)».
https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.031

Abstract

The Avilés Canyon System (ACS) is a complex, structurally-controlled canyon and valley system constituted by three main canyons of different morphostructural character. They are, from east to west: La Gaviera Canyon, El Corbiro Canyon and Avilés Canyon. In addition to this ACS, a new canyon has been surveyed: Navia Canyon.

We present for the first time a high resolution multibeam map showing with great detail the morphological and structural complexity of this segment of the Cantabrian margin.

ACS presents a tectonic imprint marked by NW–SE, NNE–SSW and E–W structures. The morphology of their reaches as well as their single mouth, in addition to some rock dredges in their major valleys, demonstrates active down-slope flushing.

The continental shelf shows a flat, uniform slope with local and well defined rock outcrops south of Aviles Canyon head. Sedimentary zones are limited, showing thin unconsolidated sedimentary cover.

Strong continental margin water dynamics avoid thicker sediment deposition, being littoral sedimentary dynamics responsible for transport to the canyons heads and conduit to the Biscay Abyssal plain.

Biscay Abyssal Plain shows evidence of a strong westward current affecting the surveyed strip of this more than 10 km wide plain. Presence of two parallel deep sea channels, erosive scarps, and erosion of gully divides on the lower slope, may indicate that this is part of the distal fan at the termination of the large turbiditic system

fed by Cap Ferret, Capbreton and other large canyons (Santander, Torrelavega, Lastres and Llanes) to the west of ACS.

Keywords: Avilés Canyon System, La Gaviera and El Corbiro, Geomorphology, Cantabrian Margin (Bay of Biscay), Multibeam bathymetry, Sediment transport

3.1. Introduction

Within the framework of the EU-funded INDEMARES (LIFE+) project "Inventory and designation of marine Natura 2000 areas in Spanish sea", the R/V Vizconde de Eza, of the Spanish Secretariat General of Fisheries (SGP), carried out two cruises in 2010 and 2011 in the Avilés Canyon area, in the central Cantabrian Sea (North Iberian continental margin). During these cruises, R/V Vizconde de Eza mapped 6282 km^2 of the seafloor of the margin, from 43° 37.60′ N to 44° 18.37′ N and from 006° 46.75′ W to 005° 18.70′ W, including continental shelf, continental slope and a narrow band of abyssal plain attached to the base of the continental slope (Figure 23 and Figure 24).

The main objective of the investigation was to locate and map possible Vulnerable Marine Ecosystems (VME) and, as the project specifies, "…to increase knowledge on marine species and habitats, their conservation status and threats, and this will make possible the selection and proposal of sites to be included in the existing Natura 2000 network".

Following the ecosystemic approach, the investigation was multidisciplinary, involving geology–geophysics, biology (benthic and pelagic), ecology and physical oceanography. This paper deals with the geomorphology and shallow structure of the area. Others will publish elsewhere on the results of the sedimentation, biological, oceanographic and ecologic investigations.

The results of this study, in turn, will provide an essential base for the other investigators. For example, knowledge on the configuration of the seafloor is essential in understanding the distribution of benthic communities and bottom circulation patterns. In addition, the shallow structure could provide data regarding changes that have taken place in time on circulation patterns and the distribution of sessile communities.

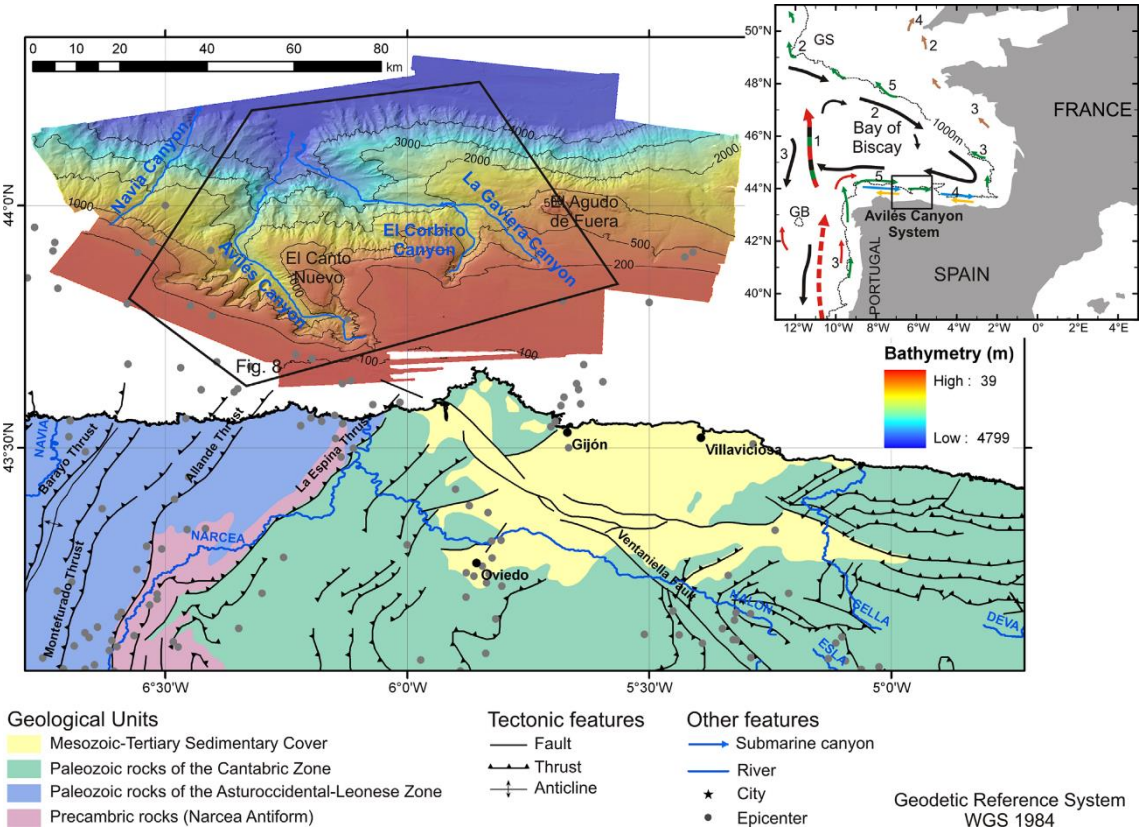


Figure 23. Multibeam bathymetry of studied area. Onshore Geology from Julivert (1971) and Pérez-Estaún et al. (1988). Seismic Epicenters from Spanish National Geographic Institute (IGN) database. Black box indicates location of Figure 8. Inset: main hydrographic circulation patterns and mean flow values (numerals in cm s^{-1}) largely from Pingree (1993) and González-Pola et al. (2012). Red arrows = Mediterranean Water; black arrows = North Atlantic Current; orange and blue arrows = continental spring–summer/autumn–winter wind driven shelf currents; green arrows = European slope current (Pingree et al., 1999); brown arrows = Armorican/Western English Channel shelf currents; GS = Goban Spur; GB = Galicia Bank. 1000 m isobath is shown (For interpretation of the references to color in this figure legend, the reader is referred to the web version of this article.).

3.1.1. Geologic and oceanographic setting

Since Francis P. Shepard published the early works on the origin of submarine canyons (Shepard, 1936, 1963, 1981; Shepard & Dill, 1966), the importance of submarine canyons as the main conduits for matter and energy transfer from the continental shelf to the deep seabed has been studied by many authors in different latitude locations and geomorphologic and tectonic settings (Taylor et al., 2000; Antobreh & Krastel, 2006; Canals et al., 2006; Laberg et al., 2007; Arzola et al., 2008; Lastras et al., 2011a, 2011b; Vachtman et al., 2013). The advent of the modern swath bathymetry systems permits an unprecedented high resolution seascape vision of the

canyon systems, which in some cases and using advanced visualization tools permits a very accurate 3D representation of the canyon realms (see 3D views in additional material on the web version) and very realistic "flight-through" video (see "Avilés_Flythrough.wmv" in web version).[1]

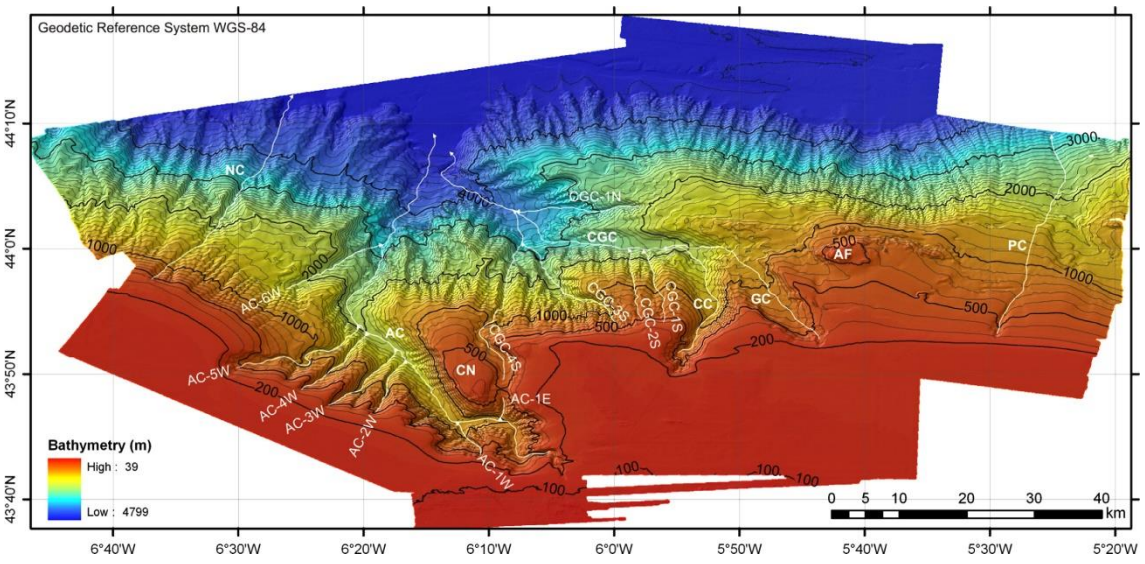


Figure 24. Shaded bathymetric map of the study area with indication of the toponymy of canyons. CN = El Canto Nuevo marginal platform; AF = El Agudo de Fuera High; PC = Proto-canyon. AC = Avilés canyon. GC = Gaviera canyon. CB = Corbiro Canyon. NC = Navia canyon. Isobath equidistance 100 m.

The interplay between canyon morphology, hydrography and biodiversity has been demonstrated in recent years (de Leo et al., 2010; Cunha et al., 2011). Canyons also have been cited as preferential areas to growing cold-water corals in the Bay of Biscay (de Mol et al., 2011). Nevertheless, studies of the morphology and structure of the canyons in the Cantabrian Margin are scarce, being the Cantabrian margin possibly the less studied area of the Spanish margins (Ercilla et al., 2008; Cirac et al., 2001; Mulder et al., 2012). The area of influence of the Avilés Canyon System, objective of this work, is located approximately between latitude 43° 37.60′ N and 44° 18.37′ N and from 006° 46.75′ W to 005° 18.70′ W longitude (Figure 23 and Figure 24). This region is part of the compressive continental margin north of the Iberian Peninsula.

The complex tectonic history of this margin started with the rifting of the Bay of Biscay (from Triassic to Lower Cretaceous) and the development of a passive margin

Supplementary material related to this article can be found online at http://dx.doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.031.

(Upper Cretaceous), finishing with a compressive Cenozoic phase that leads to a partial closure of the Bay of Biscay (Boillot et al., 1979; Thinon et al., 2001; Gallastegui et al., 2002). This last phase developed a narrow convergent margin to the south (the actual North Iberia margin) and the uplift and deformation of the Cantabrian Mountains (Pérez-Estaún et al., 1995; Pulgar et al., 1996). Active continental margins contain 15% more canyons (2586, equal to 44.2% of all canyons) passive margins (2244, equal to 38.4%) and the canyons are steeper, shorter, more dendritic and more closely spaced on active than on passive continental margins (Harris & Whiteway, 2011). These authors confirmed observations of earlier workers that a relationship exist between canyon slope and canyon spacing (increased canyon slope correlates with closer canyon spacing).

The preferred structural directions in the region are NW–SE, corresponding to right-lateral strike-slip faulting; NNE–SSW usually associated with left-lateral strike-slip faults; and E–W to WNW–ESE related to compressive structures such as large thrusts and folds (Gallastegui et al., 2002).

The crystalline basement of the study area mainly corresponds to the offshore extension of the Precambrian units of the West Asturias-Leonese Zone of the Iberian Massif, near the border of the Cantabrian Zone (Capdevila et al., 1980; Malod et al., 1982; Mamet et al., 1991; Pérez-Estaún & Bea, 2004). The thin cover of Mesozoic to Quaternary deposits over the pre-Mesozoic basement, 0–4 s two way travel time (0–4 s twtt) has an irregular distribution, reflecting the complex margin evolution (Vigneaux, 1974; Derégnaucourt & Boillot, 1982; Thinon et al., 2001; Gutiérrez Claverol & Gallastegui, 2002). During Neogene and Quaternary times, sedimentation smoothes several tectonic landscapes, while the strong canyon network develops obliquely incised across the continental slope of the North Iberia margin and is tectonically controlled (Boillot et al., 1971, 1974; Álvarez-Marrón et al., 1995; Ga-llastegui, 2000; Gallastegui et al., 2002; Iglesias, 2009; van Rooij et al., 2010).

The water masses present in the study area are varieties of those which have been defined for the Eastern North Atlantic (see van Aken, 2000a, 2000b for recent reviews). From surface to bottom we find (Figure 23): (1) the Eastern North Atlantic Central Water (ENACW) that extends from the base of the winter mixed layer (200 m) to depths of around 500–600 m. It is characterized by a weak southwards flow at the Eastern North Atlantic Basin (Paillet & Arhan, 1996) and anticyclonic circulation in the Bay of Biscay (Pingree, 1993) with flow at 500 m leaving the Bay generally westward off NW Spain (see for example, Pingree & Le Cann, 1990). (2) The Mediterranean Outflow Water (MOW), found down to depths of about 1400 m (main core

at 1000 m) progresses northwards along the western Iberian margin and enters the Bay of Biscay within the slope current (Iorga & Lozier, 1999b), although general circulation at these levels in the inner Bay of Biscay is also consistent with an anticyclonic loop (Colas, 2003). (3) The Labrador Sea Water (LSW) enters the Bay of Biscay from the northwest (Pingree, 1973; Paillet et al., 1998) and the main core lies at ~1800 m, although its signature is hardly distinguishable in southern Biscay. Below (4), the North Atlantic Deep Water (NADW) is found, a water mass resulting from the mixture of different water sources mainly of Arctic origin and even an Antarctic component. Mean circulation at deeper levels is very weak (r 1 cm/s) and poorly defined, indicating a cyclonic circulation all around the Eastern North Atlantic Basin (Dickson et al., 1985; Paillet & Mercier, 1997). Besides the large-scale mean flow, strong shelf and along-slope currents develop with a marked seasonal character and are strongly E–W polarized due to geostrophic topographic steering in the Aviles Canyon region (Pingree & Le Cann, 1990). The winter Navidad current (Pingree & Le Cann, 1992) can result in warm water along the Cantabrian shelf/slope region, bringing with it associated subtropical plankton species (Pingree, 1994).

3.2. Materials and Methods

3.2.1. Bathymetry and parametric seismic profiles

The data set presented here corresponds to two cruises (INDEMARES-AVILES0410 and INDEMARES-AVILES0511) carried out aboard the R/V Vizconde de Eza in the years 2010 and 2011. The multibeam echosounder system used was a Kongsberg-Simrad EM-300, operating 135 beams at 30 kHz frequency, with approximately 11 beam width. Surveys are undertaken to meet International Hydrographic Organization (IHO) standards for multibeam surveying, and multibeam tracks were positioned to insonify 100% of the seafloor with a 33% overlap between them. Information on the shallow structure of the area was obtained with a hull-mounted Topas PS 018 high-resolution para- metric profiler system, with integrated transmitter and receivers. Shipboard navigation comprises a differential Simrad GN33 GPS, using satellite corrections from a Fugro system with an inertial integrated- aided Seapath 200 System for accuracy of 0.7 RMS (root mean square).

3.2.2. Data processing

Multibeam data set were processed using Caris Hips & Sips V.7.1 software and interpolated to a 75 m side regular grid, providing virtually continuous coverage of

the entire survey area. Other digital terrain model derivatives, such as gradient and shading models, where calculated using the Spatial Analyst Tools package from ArcGIS V.10 software, to assess the morphological interpretation. Advanced visualization of some areas has been elaborated using Fledermaus V.7 software.

Using the above processing techniques, a vertical resolution of 0.25% of the water depth can be achieved for features that span a horizontal distance of about 10% of the water depth, the average beam footprint size.

3.2.3. Toponymy of main morphologic features and canyon labeling

Although the Avilés Canyon has been known for years by local fishermen and sailors, nowadays we know for the first time its precise morphology by using high resolution multibeam echo- sounders. All the associated tributaries of the Avilés Canyon, and other new ones which have been referred to in this paper as Avilés Canyon System (ACS), have also been mapped in detail.

The International Hydrographic Organization (IHO), the official organization responsible for naming undersea features, place no name for the Avilés Canyon in its last published Gazetteer (IHO-IOC, 2011), nor those of the associated canyons depicted in this paper. However, a gazetteer of undersea feature names, published by the Defense Mapping Agency of USA (Defense Mapping Agency, 1981), cite the Avilés Canyon in a position of 43° 55′ N and 006° 19′ W, a location that corresponds roughly with the middle reaches of the main Avilés Canyon (AC) talweg, being the canyon head 15 nm southward of this point.

The use of high resolution multibeam bathymetry, with full coverage of the sea floor, has permitted us to reveal, with unprecedented accuracy, the complex structure and morphology of the ACS, which includes several major canyons, marginal platforms, and large areas of rocky outcrops.

In this paper we propose the nomenclature of the main morphological elements surveyed in our study area based on the historical and ancestral tradition of the important fishing fleet of the Principado de Asturias (Consejería de Medio Rural y Pesca, 2011), and following the guidelines for standardization of undersea feature names (IHO, 2008). The proposed names (Figure 23 and Figure 24) that will be used in this paper are shown in Table 4.

In addition to the new main canyons named above, that correspond to first order morphologic features, there are second order morphological elements associated

with the aforementioned names, that will be labeled using geographic references relative to the main feature; for example, the tributaries of the Aviles Canyon (AC) will be named with Arabic numbers starting from the head and followed with a letter indicative of the wall orientation, that in the case of AC could be East (E) or West (W). So, the third tributary of Avilés Canyon from its West wall will have the name: AC3W, and so on (Figure 24).

Table 4. Toponymy in the study area (Avilés Canyon System).

Morphological elements	Names
Avilés Canyon System (ACS)	Avilés Canyon (AC)
	Corbiro Canyon (CC)
	Gaviera Canyon (GC)
Navia Canyon (NC)	
Submarine highs	El Agudo de Fuera (rocky outcrop) (AF)
	El Canto Nuevo (marginal platform) (CN)
Abyssal Channels	Asturias Deep Oceanic Channels (ADOC)

3.3. Physiography

The area of the Cantabrian margin studied during the present investigation extends from 43° 37.60′ N to 44° 18.37′ N in latitude and from 006° 46.75′ W to 005° 18.70′ W in longitude, with depths ranging from 40 to about 200–300 m on the Continental Shelf to more than 4700 m on the Abyssal Plain. The continental slope is dissected from the W to the E by four submarine canyons: Navia, Avilés, El Corbiro and La Gaviera, the last three constituting the Avilés Canyon System (ACS), fully crossing the margin from the shelf to the abyssal plain (Figure 24).

The bathymetric map in Figure 24 shows its morphology. Below, we describe the morphology of these features, whose origin will be interpreted in the subsequent discussion section.

3.3.1. Continental shelf

The continental shelf is generally narrow, a characteristic feature of compressive continental margins and in general along the entire Cantabrian shelf (Ercilla et al., 2008). Its width varies from 12 km (where the head of AC is incised) to 40 km, with maximum depths of about 200 m and exceptionally as high as 300 m east of AC. The slope varies gently, ranging from 0 to less than 11. The area is highly tectonized, with interference of various strain directions (the inherited Hercynian tectonic fabric and those gener-

ated during N–S Cenozoic compression, Figure 23). This strong tectonic influence results in a very irregular continental shelf edge, with incoming and outgoing directions oblique to the coastline (Figure 24). A small marginal platform, also of tectonic-influence origin, is found close to the continental shelf (El Canto Nuevo marginal Platform, see Figure 23 and Figure 24), and will be described below in this paper.

The continental shelf mapped in the present paper covers a surface of 1755 km^2 and is restricted to the outer/middle shelf of this segment of the Asturian shelf, being the minimum depth investigated 40 m. The shelf break is located at a general depth of about 200 m, with a maximum depth of ~300 m and shows a general E–W trend, and has been mapped using the change in the gradient slope to accurately determined it, as it was already done for the drainage basins of the northern part of the Bay of Biscay (Bourillet et al., 2003). The general trend varies for the zone of AC head, where the shelf break shows a general NW–SE trend (Figure 24). Below, we describe the shelf morphological features mapped from multibeam bathymetry.

SHELF SEDIMENTARY MORPHOLOGIES

The continental shelf displays rocky outcrops of different reliefs and morphologies and a near horizontal surface corresponding to sedimentary areas with unconsolidated sediment cover or heavily eroded basement surfaces (Figure 25, Figure 26 and Figure 27). The sedimentary area located in the continental shelf corresponds to sub-horizontal zones with slopes of less than 11 and do not show sedimentary structures generated by dynamic processes. However, some sedimentary features have been identified in certain areas of the continental shelf (Table 2).

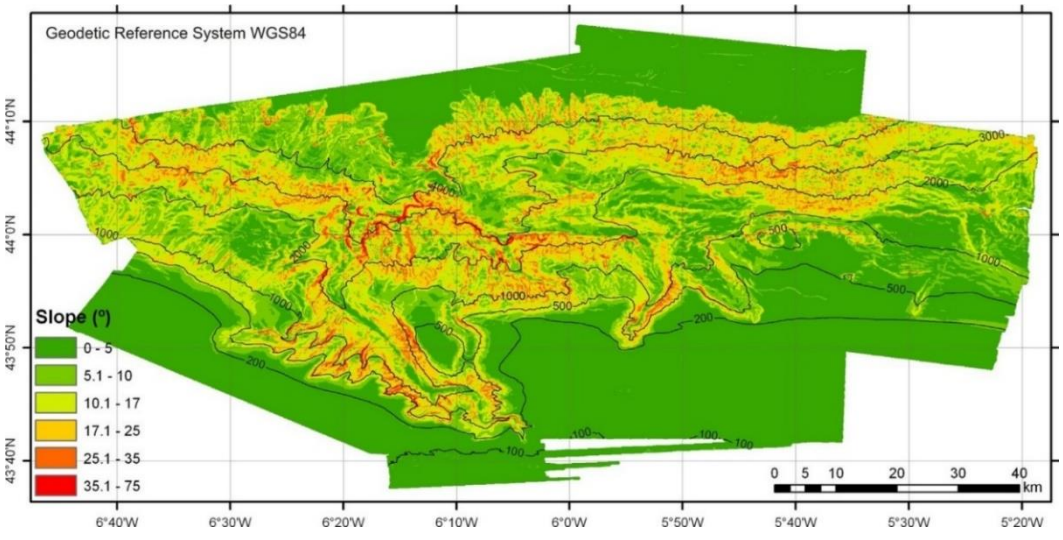


Figure 25. Slope map in degrees of the study area.

Sediment waves

Just south of AC head, and at the inner part of the shelf, there are localized areas where sediment waves are seen in the high resolution (15 m) DTM, showing erosional channels between them (Figure 26). Seismic profiles in this area show maximum thickness of about 10 ms twtt (S in Figure 26).

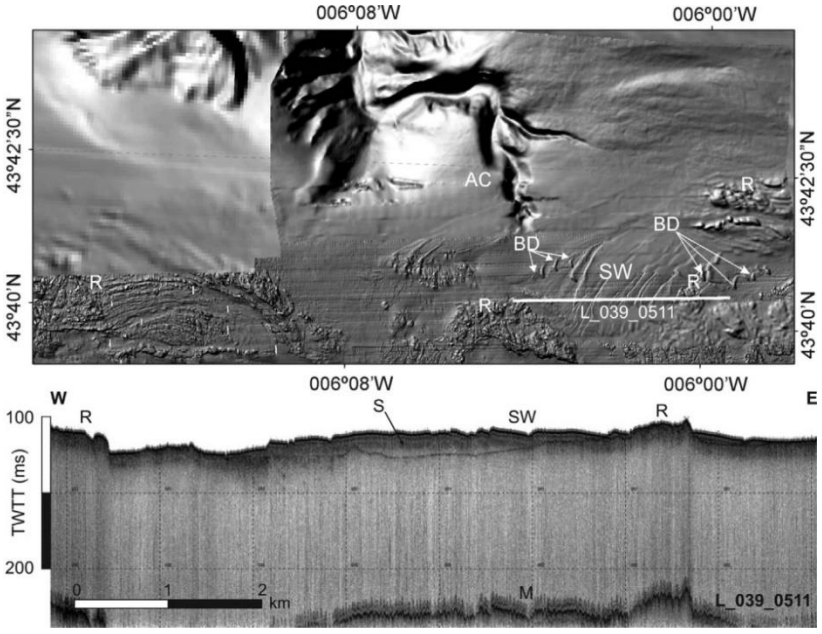


Figure 26. Upper panel: Continental shelf DTM elaborated with two different grid spacing (75 x 75 and 15 x 15 m) south of Avilés Canyon. AC=Avilés Canyon; R=high relief rock outcrops (note the folded and faulted lower-left part). BD=Barchan-type dunes. Lower panel: high resolution seismic profile (TOPAS) L_039_0511. S=unconsolidated sediment cover; SW=flat topped sediment waves; R=high relief rock outcrop; M=multiple.

i. Megaripples have been identified from multibeam bathymetry and high resolution seismic profiles that cut the crest lines. Figure 26 shows that the crests of theses waves are rectilinear NE–SW oriented and roughly oblique to the regional slope. The morphological measurements made indicate variable dimensions, with a WH (wave height) of 1–4 m and a WL (wave length) of 200–400 m. The internal structure of these megaripples is defined mainly by the parallel to sub-parallel stratified facies (Figure 27 lower panel).

ii. A small number of barchans-type dunes (BD in Figure 26) have been observed close to the megaripples area with same NE–SW orientation. They present a 170 m length between "horns" and 4 m in height. In cross-sections, the slip faces point eastwards with the steeper and shorter side face east (Figure 26).

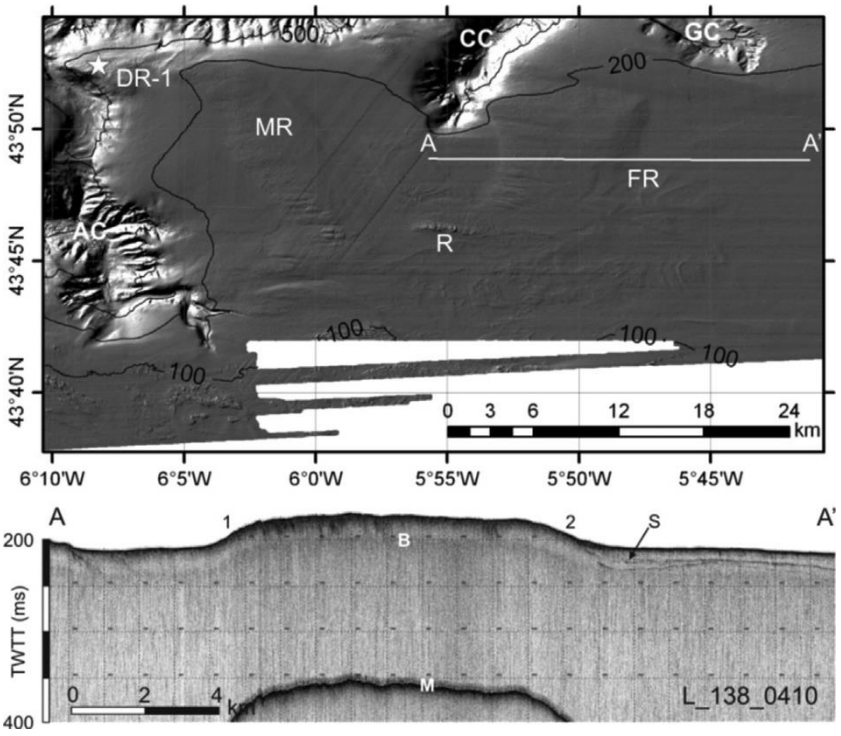


Figure 27. Upper panel: shaded relief map showing the eastern part of the continental shelf (from AC Head). Illumination from the NW. MR=Massive rocky outcrop; R=E–W oriented high relief rock outcrop; FR=Folded and faulted low relief rock outcrop; White star: location of rocky dredge DR-1 (recrystallized sandstone). Lower panel: high resolution seismic profile (TOPAS), showing basement (B) and thin sediment cover in the east part of the profile (S); M=sea-bottom multiple. Note the presence of smooth basement outcrop (1–2); See location of profile in upper panel, white line (A–A').

Sediment patches

Located to the east of AC head, the continental shelf shows small patches of horizontal sedimentary zones situated between acoustic basement outcrops (S in Figure 27, lower panel). Reaching the GC longitude and extending further east, sediment areas dominate on the shelf of this eastern part, surrounded by heavily eroded acoustic basement rocks (MR and FR in Figure 27).

SHELF TECTONIC AND EROSIVE MORPHOLOGIES

In the outer continental shelf, some hard bottom areas have been located consistent with tectonic origin. These have been differentiated into three types: high relief rock outcrops, massive low relief rock outcrops with high reflectivity and low relief rocky outcrops with evidence of fracturing and folding.

Tectonized rock outcrops

The location of this type of rocky outcrops corresponds to the South prolongation of AC head (R in Figure 26 and Figure 27). The rocks present a smooth bend in plain view and have reliefs of about 30 m in relation with the adjacent seafloor. Figure 26 shows a striking outcrop of folded rocks presenting a convex bend northward. Continuous sub-vertical strata may correspond to a sinform/antiform with a faulted south flank. Another type of high relief outcrop is located south of CC head (R in Figure 27), which present an E–W direction, a width of about 600–800 m and a maximum relief of 30 m. The morphology of this outcrop is different to that described above, presenting a more homogeneous and massive aspect; it appears to be segmented into large blocks.

Massive rock outcrops

This type of rocky relief is represented mainly in the eastern part of the shelf (eastward from AC head). The morphology of this type of rock outcrop is characterized by a smooth surface without irregularities, massive appearance and absence of small cracks or fragmentation (MR in Figure 27). The MR is NNW–SSE oriented, has a relief of 30 m above the surrounding seafloor, a width of 6500 m and a length of 14 km (NNW–SSE heading). The northern end of the rock massif turns sharply to the west and affects the course of CGC-4S canyon (Table 5).

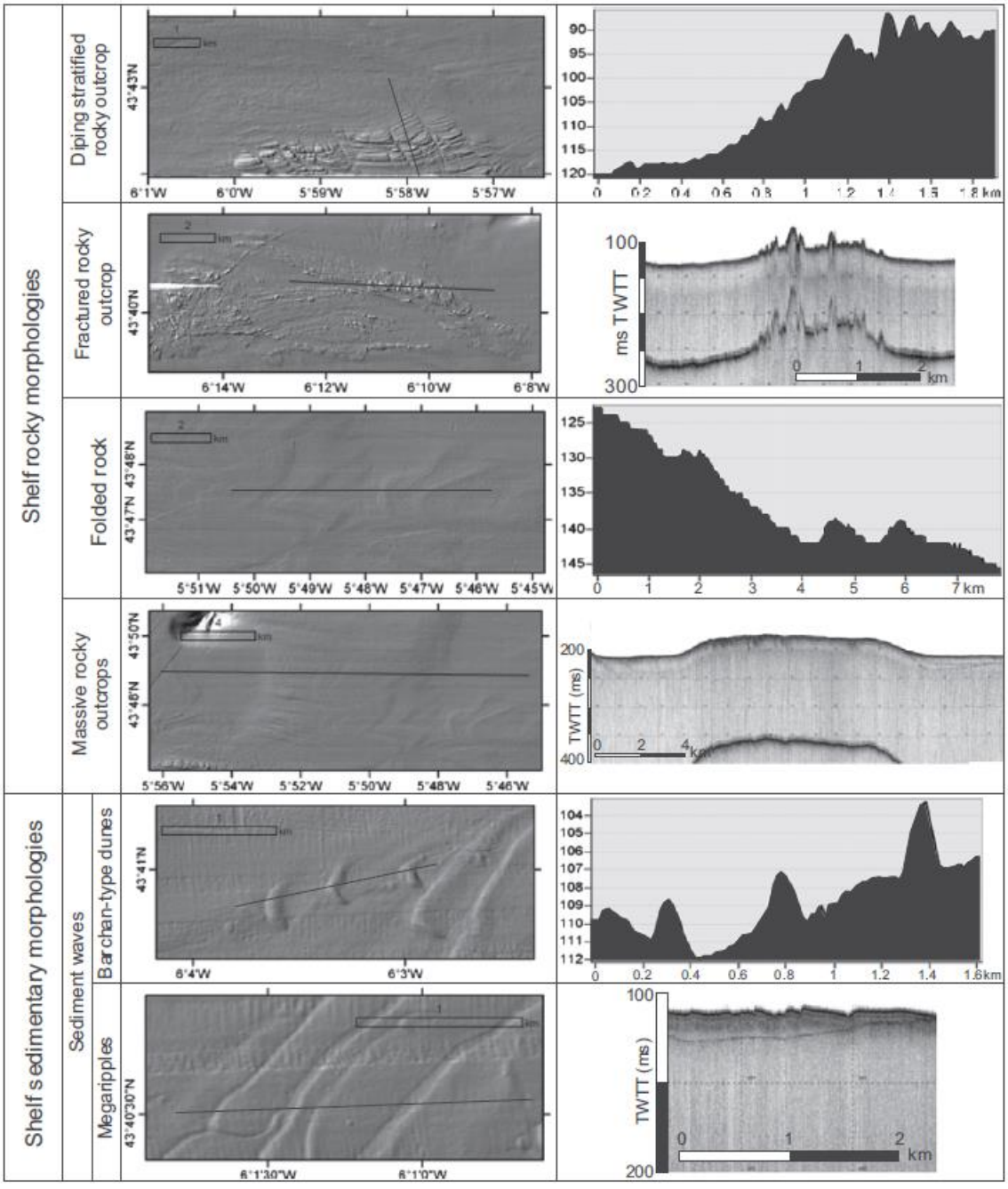
Low relief rocky outcrops with evidence of fracturing and folding

This type of rock outcrop is located mainly in the eastern part of the shelf, and presents reliefs of 10–25 m with respect to the surrounding flat sedimentary seafloor that extends towards the east. FR in Figure 27 shows the striking morphology of this acoustic basement, showing sharp bending of the strata and clear fault zones. Most of the surface that corresponds to this kind of basement rocks presents strong erosion.

3.3.2. Upper Continental Slope

The continental slope of the studied region has a total area of ~3770 km. It has been divided into an upper slope, of usually lower gradient, and a lower slope, of higher gradient and densely crisscrossed by gullies (Figure 24 and Figure 25). The different canyons described below in this paper cross the whole continental slope from the shelf break.

Table 5. Sedimentary and rocky morphologies.



The Upper Continental Slope occupies the seafloor from the continental shelf break to approximately the 2000 m isobath, with an area of 2018 km^2. It is locally narrow (about 6 km in the incision of NC, Figure 24), and in some places reaches a width of more than 28 km (to the east of the study area), its medium width being approximately of 12–16 km. It is characterized by an abrupt relief and variable slope, which ranges

from sub-horizontal (in sedimentary areas) to more than 40° in some gullied areas (Figure 25). The average slope on the Upper Continental Slope is of 10° (Figure 25).

Along the continental slope, we differentiate some sedimentary and rocky areas, most of them on the Upper Continental Slope. The rocky outcrops, to the east, mainly constitute the structural high named El Agudo de Fuera, which will be described below in this paper (See section Submarine highs) (Figure 28).

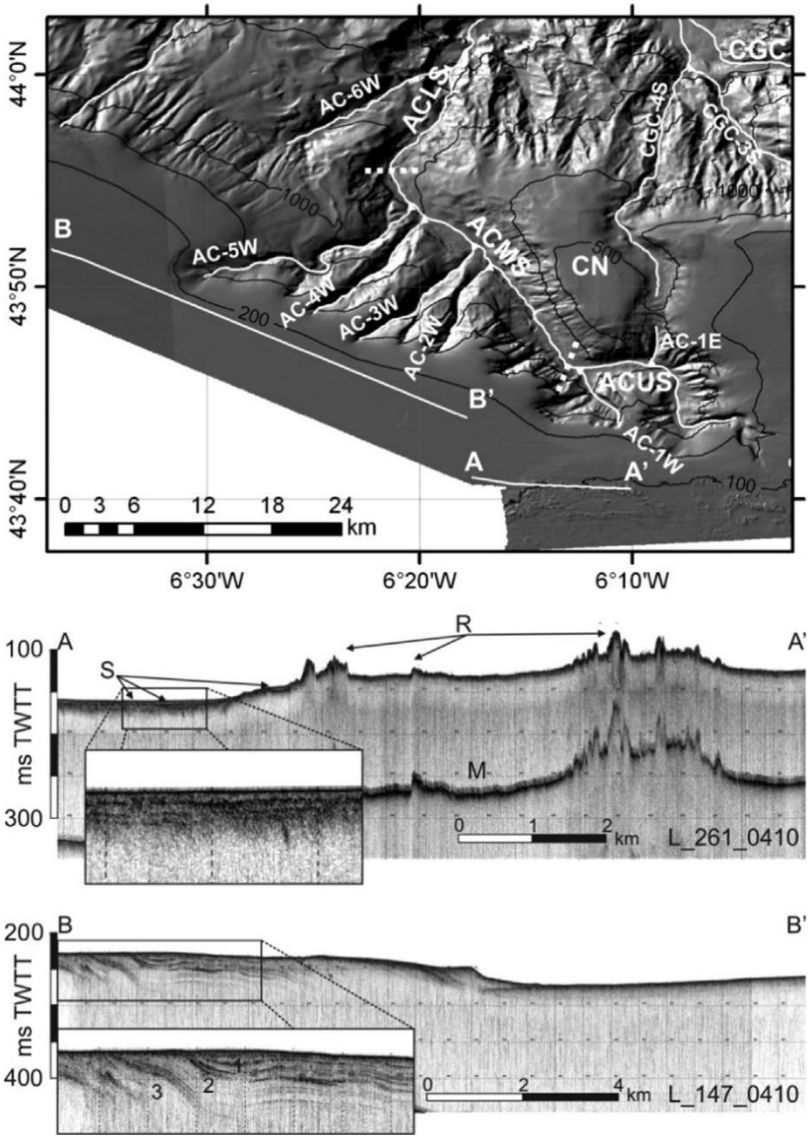


Figure 28. Upper panel: shaded relief map showing the western part of the continental shelf, with indication of the toponymy of canyons. Illumination from the NW. Lower panel: A–A′: Topas Profile over high relief rock outcrops (R). S=very thin cover of unconsolidated sediment. B–B′=flat seafloor with high reflectivity passing at its western end to acoustic basement with 3 sedimentary units (1–3). M=seafloor multiple.

UPPER CONTINENTAL SLOPE SEDIMENTARY MORPHOLOGIES

The main depositional morphologies along the continental slope consist of the sedimentary bodies described below.

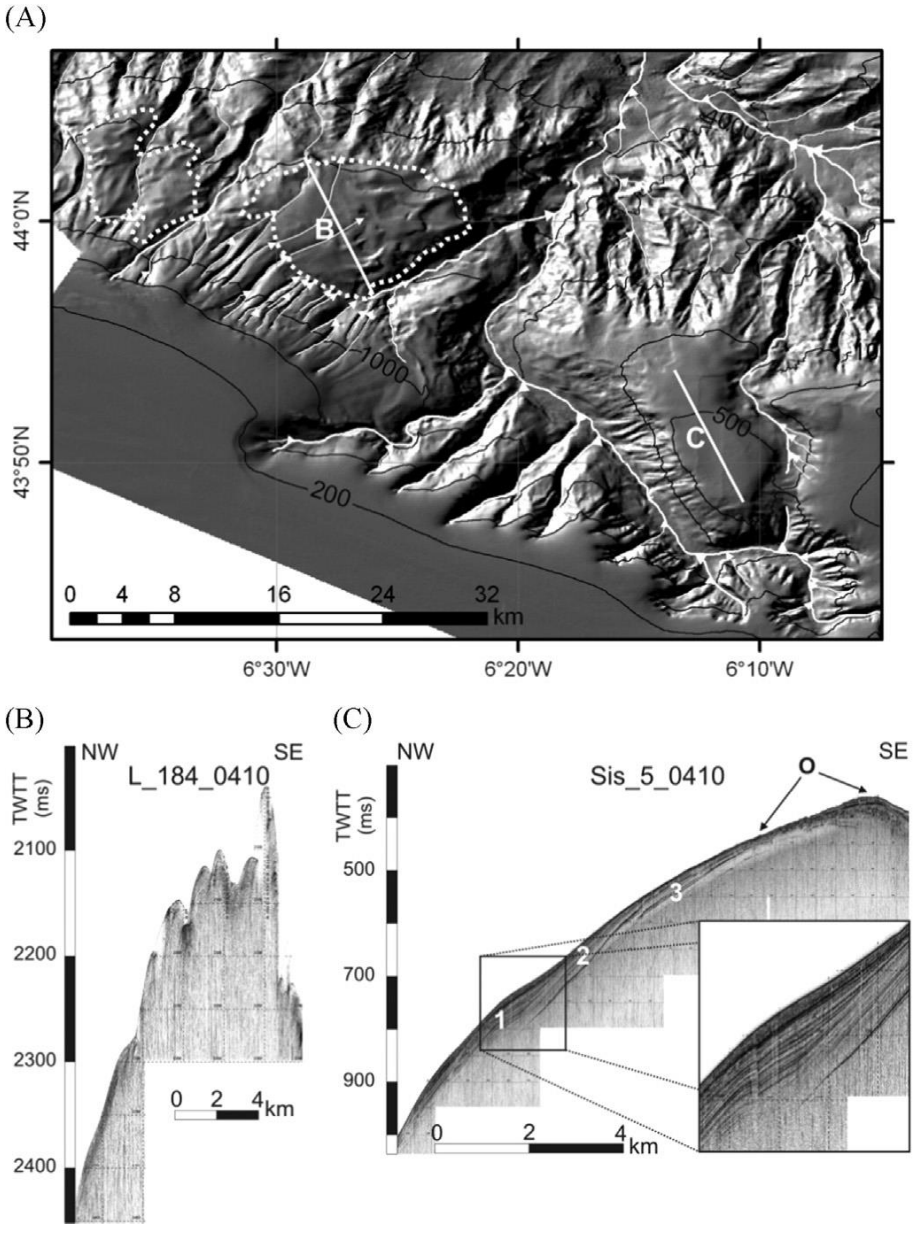


Figure 29. (A) Shaded relief map of the west Upper Continental Slope. Illumination from the NW. White dotted line=Sediment drift; White arrows=gullies and canyons; (B): Topas profile L_184_0410 over sediment drift. Note the irregular surface due to erosional features. (C): Topas profile Sis_5_0410 over El Canto Nuevo marginal platform. O=undulated sea-floor morphology indicating erosive processes. 1-2-3=Sedimentary units dipping to the NW.

Sedimentary bodies

i. Some sedimentary areas identified through multibeam bathymetry and high resolution seismic profiles, on the continental slope. West of AC head, the presence of two sedimentary bodies on the Upper Continental Slope is striking, at depths ranging 1000–2000 m (Figure 29A). The western one has a two-lobed shape (Figure 29 cross section), is 8.7 km long in the NW–SE direction, and 4–6 km wide in the NE–SW direction, with an area of 40.7 km^2. The sedimentary body between AC and NC is slightly elliptic-shaped, 12 km long in the WNW–ESE direction and 10 km wide in the conjugate direction, and has an area of 85.4 km^2. Seismic profiling confirms its sedimentary origin (Figure 29B) and shows hyperbolic echoes.

ii. On the continental slope east of the ACS (Figure 24), other sedimentary body is found to a great extent over the Upper Continental Slope, in a depth range of less than 500 m to about 2000 m. It presents a convex relief with a very low gradient. The internal reflectors of the body present an internal structure on parallel and sub-parallel setup.

UPPER CONTINENTAL SLOPE TECTONIC AND EROSIVE MORPHOLOGIES

Two types of erosive features have been identified, which mostly occur in groups, gullies and moats Figure 30 and Figure 31.

Moats

There are moats related to different rocky outcrops east of GC, some of them are: at the north base of AF high, there is an E–W oriented moat with a ~60 m relief; at the base of an isolated rock boulder, 1300 m wide in SE–NW direction (IR in Figure 32B), there are two prominent moats with a relief of 60 m (SE moat) and 30 m (NW moat); on the northern side of an E–W oriented, 3500 m long linear rocky outcrop (LR1 in Figure 32B), there is a moat with 30 m relief; on the northeast side of the linear rocky outcrop west of the previous one, WNW–ESE oriented, ~4000 m long (LR2 in Figure 32B), there is a less marked moat of ~10 m relief; another moat of 30 m relief is found on the southeast side of the LR3 2000 m long linear rocky outcrop (Figure 32); north of the 1400 long, E–W oriented LR4 (Figure 32B), there is a moat of 10 m relief; at the base of the scarp Sc (see in Figure 32B), there is also a noticeable moat of 20 m relief.

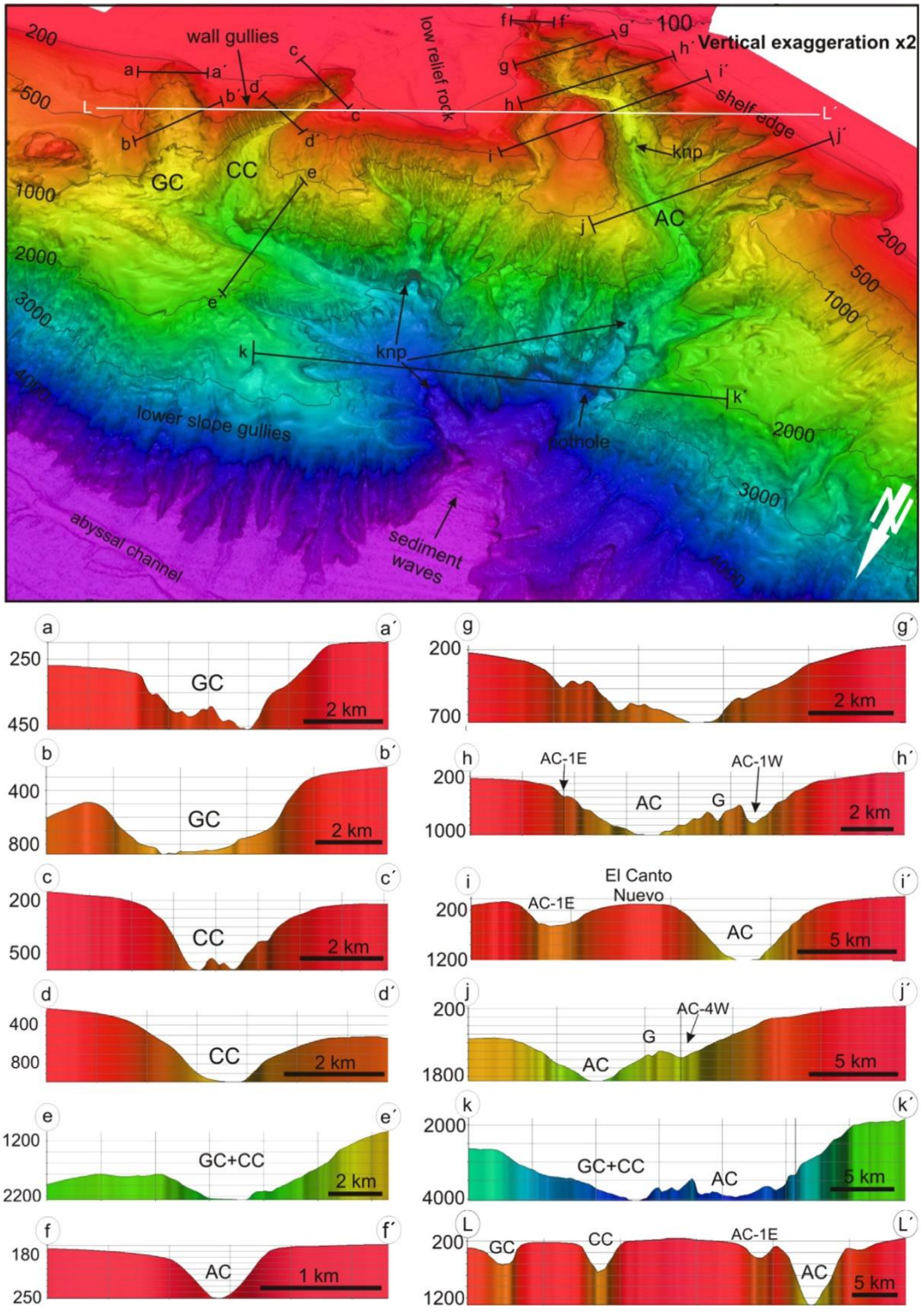


Figure 30. Upper panel: 3D view of the ACS. knp=knickpoints; lowercase black letters and uppercase white letters mark the extension of bathymetric profiles depicted below. Lower panel: bathymetric profiles, bathymetry shown in meters.

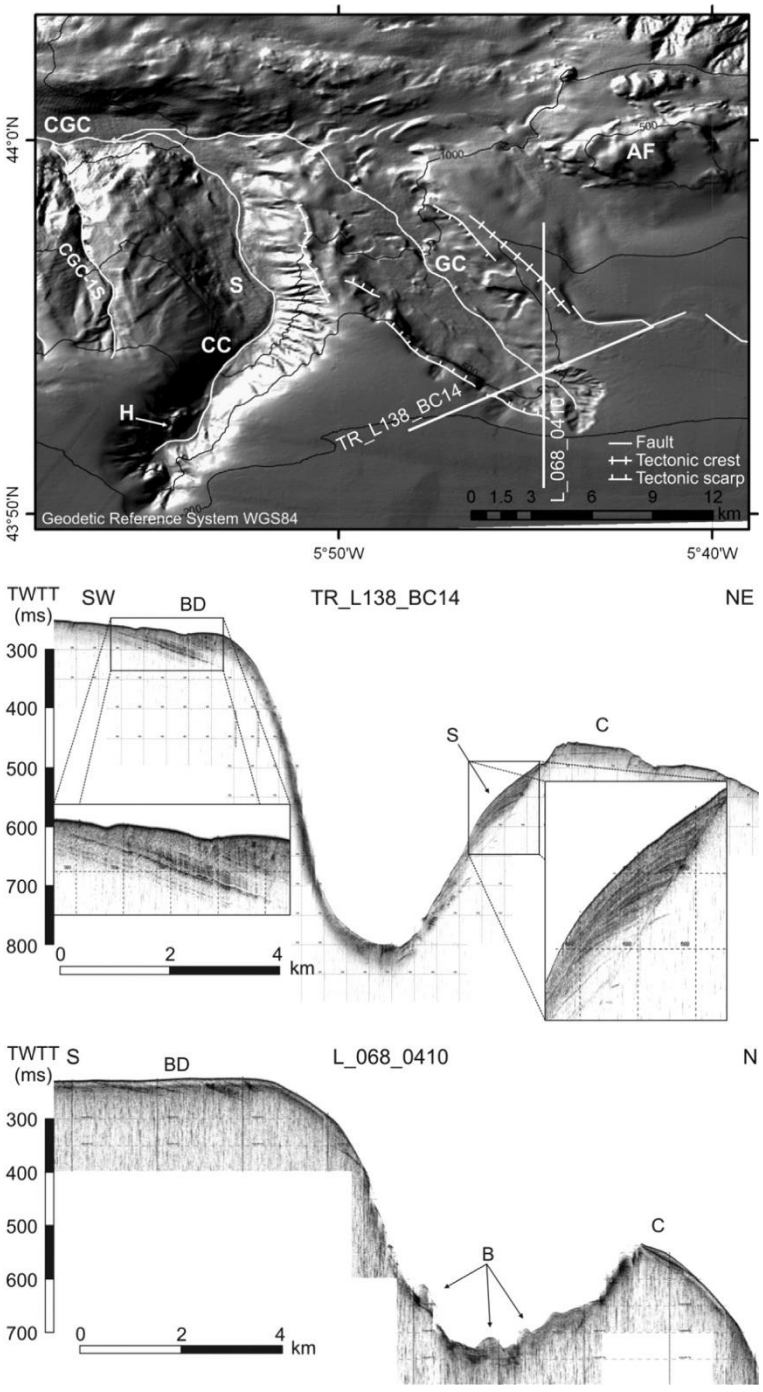


Figure 31. Upper panel: DTM of GC and CC area with indication of the toponymy of canyons. Illumination from the NW. H=Elongated rocky high; S=Sediment accumulation attached to the west wall; White lines indicate location of Topas profiles shown below. Topas profile TR_L138_BC14: S=Sediment unit leaned against the east wall; C=Basement crest oriented S–N and parallel to GC axis. Note the strong asymmetry of the walls, the SW one being much steeper. Topas Profile L_068_0410, crossing GC S–N: B=circular mounds, possible bioherms; C=Basement crest oriented S–N and parallel to GC axis; BD=acoustic basement showing monoclinal strata dipping to the N.

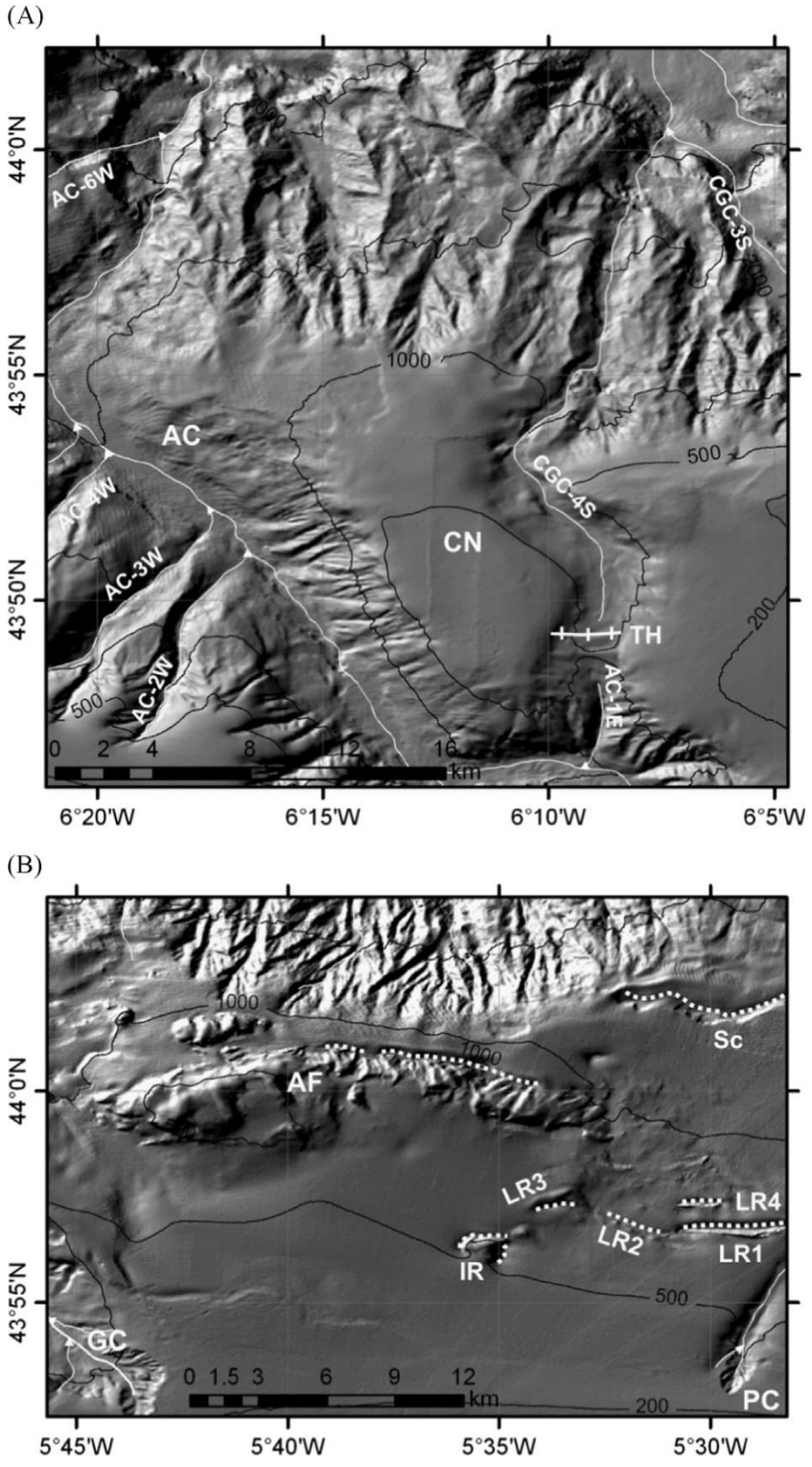


Figure 32. (A) DTM of El Canto Nuevo marginal platform. TH=bathymetric threshold dividing AC-1E from CGC-4S. (B) DTM of El Agudo de Fuera high. IR=isolated rocky outcrop; LR=linear rocky outcrop; Sc=scarp; PC=Proto-canyon; white dotted line=moat.

Gullies

Several systems of gullies have been mapped in the western continental slope area with a linear pathway. A total of 61gullies configured this system displayed a SW–NE trend and deepens from 500 to 1600 m water depth towards the NE. They are characterized by a main axis perpendicular to the bathymetric contours. The mean gully length is 4.9 km (range of 11.2 to 0.7 km).

Navia Canyon

Navia Canyon is located to the west of the ACS, at a similar longitude to that of the Navia river mouth (Figure 23 and Figure 24). It runs between the two sedimentary areas described previously in section Sedimentary bodies (i). Its axial incision is 36.5 km long, and starts at the continental shelf break (~321 m deep), ending at the Biscay Abyssal Plain (4779 m deep) (Table 6). It is a rectilinear canyon, NE–SW oriented, probably tectonically influenced, with a V-shaped bottom. It only has three tributaries, eastwards from its axial incision: two on the upper sector and one in the middle. Its west wall on the middle sector is irregular, showing at least two lineal escarpments, parallel to the axial incision of NC. There are two erosive scarps that imply a drop on the axial incision: one in the middle sector, connecting with the lower sector, and the other, with more than 250 m relief, close to the mouth of the canyon, connecting the lower slope with the Biscay Abyssal Plain.

Table 6. Main morphometric characteristics of canyons and branches studied.

Name	Length[a] (km)	Maximun width (km)	Head depth[b] (m)	Conf. depth[c] (m)	Area (km²)	Sinuosity[d]	Gradient[e] (°)
Gaviera Canyon	2334	6152	205	1913	7692	136	3.7
Corbiro Canyon	2326	7828	176	2108	1082	128	5.1
CGC-1S	1032	189	532	2314	2769	107	9.8
CGC-2S	1186	1972	405	2403	1985	105	10.3
CGC-3S	1921	2457	424	3288	8913	112	8.5
CGC-4S	2685	536	436	3505	891	117	5.7
CGC-1N	1517	584	1926	3878	6154	103	6.2
AC-1E	464	2731	518	1028	84	107	6.9
AC-1W	608	1926	232	1167	1904	109	7.1
AC-2W	948	2947	343	1798	1987	103	9.2
AC-3W	1207	3183	289	1840	3861	103	7.8
AC-4W	118	3442	340	1993	2822	108	8.0
AC-5W	1988	3803	199	2017	6158	120	5.8
AC-6W	1818	228	468	2953	3504	108	7.6
Navia Canyon	3215	4744	321	4779	10,979	108	7.5
Avilés Canyon	7754	2078	128	4766	78,422	143	4.6
Corbiro-Gaviera Canyon	5821	9545	806	4341	75,685	142	5.1

[a] Total length of the main canyon/branch; [b] Starting depth of the main canyon/branch; [c] Depth of confluence, at which the branch joins the main canyon/depth of the main canyon at the mouth; [d] SI=channel axis length/length of the straight-line distance; [e] Mean gradient along the main canyon/branch.

Proto-canyon

There is also a striking proto-canyon incised on the eastern part of the continental slope, eastwards from AF high (Figure 25). It seems to be strongly influenced by tectonics, as its axial incision is rectilinear but with some abrupt direction changes: its southern sector, from its tip at a 270 m depth, is approximately NE–SW oriented, at a depth of 760 m it turns to NNE–SSW, up to a transverse tectonic scarp, where it turns back to nearly NE–SW direction at a depth of 1455 m. At 2270 m deep, it joins another gully and the axial incision turns to a NNW–SSE direction. At least part of its western side, close to the head, is affected by rectilinear tectonic scarps.

Submarine highs

Some structural highs have been identified on the continental slope of the study area. The presence of a seamount (or marginal platform) named El Canto Nuevo (Figure 23 and CN in Figure 24), located on the east slope of the AC is remarkable. It is elongated on the NW–SE direction (15.4 km long, 5–6 km wide) and has an approximately flat top with an area of 68 km^2 and depths ranging between 300 m and 1300 m. The top of this seamount is tilted to the NW (Figure 29). Its SW, NE and SE flanks are rectilinear scarps with orientations similar to those of the main structural directions described for this region (Figure 23 and Figure 25).

Topas profiling shows the sedimentary nature of the materials that cover the seafloor of CN (see Figure 29C). Its northwestern corner is affected by at least three gravitational slides, with recognizable scarps, and there is another slide scarp on its NE corner (Figure 33A). The SE side of the top of CN is less than 3 km away from the continental shelf where a small topographic threshold (TH in Figure 32A) separates the heads of the AC-1E canyon (running southwards) and CGC-4S canyon (running northwards).

The other remarkable structural high in the study area is El Agudo de Fuera (Figure 23 and AF in Figure 24). It is a rocky outcrop on the Upper Continental Slope, to the NE of GC. It has an approximate area of 40 km^2, and is elongated in an E–W direction (~16 km long, 1.5–3.5 km wide). Its surface and boundaries are irregular, with the top ~320 m depth. Associated to the north facade of AF, there is a parallel moat of ~50 m relief (Figure 32B).

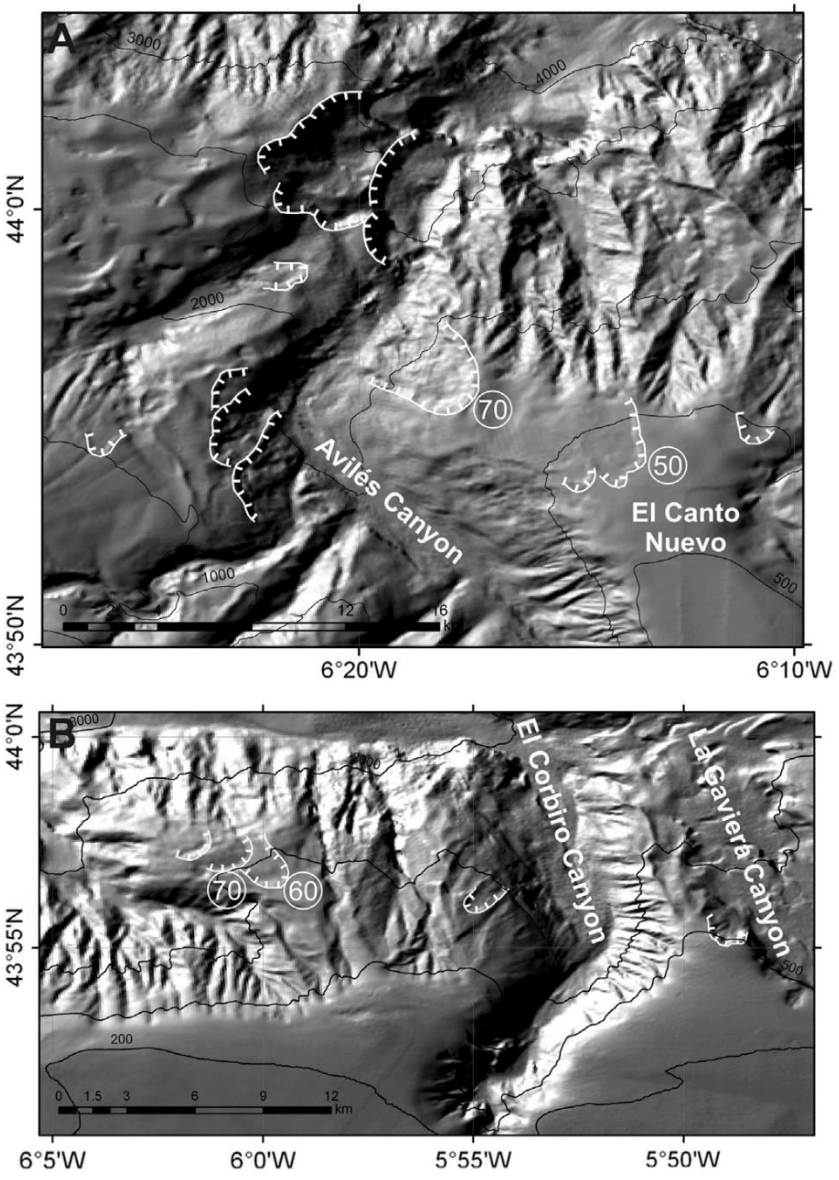


Figure 33. (A) Shaded relief map of El Canto Nuevo (illumination from the NW) showing head scarps of gravity sliding some of which have 50–70 m relief (numbers inside circles). B: Shaded relief map (illumination from the NW) of the divide between CC and CGC-1S canyons. Note head scarps of 60–70 m relief.

3.3.3. Lower Continental Slope

The Lower Continental Slope in the surveyed region occupies an area of 1752 km^2. Depths range from 2000 m (the lower part of the Upper Continental Slope) to about 4700 m on the foot of the continental slope, where it connects with the Biscay Abyssal Plain (Figure 24 and Figure 34).

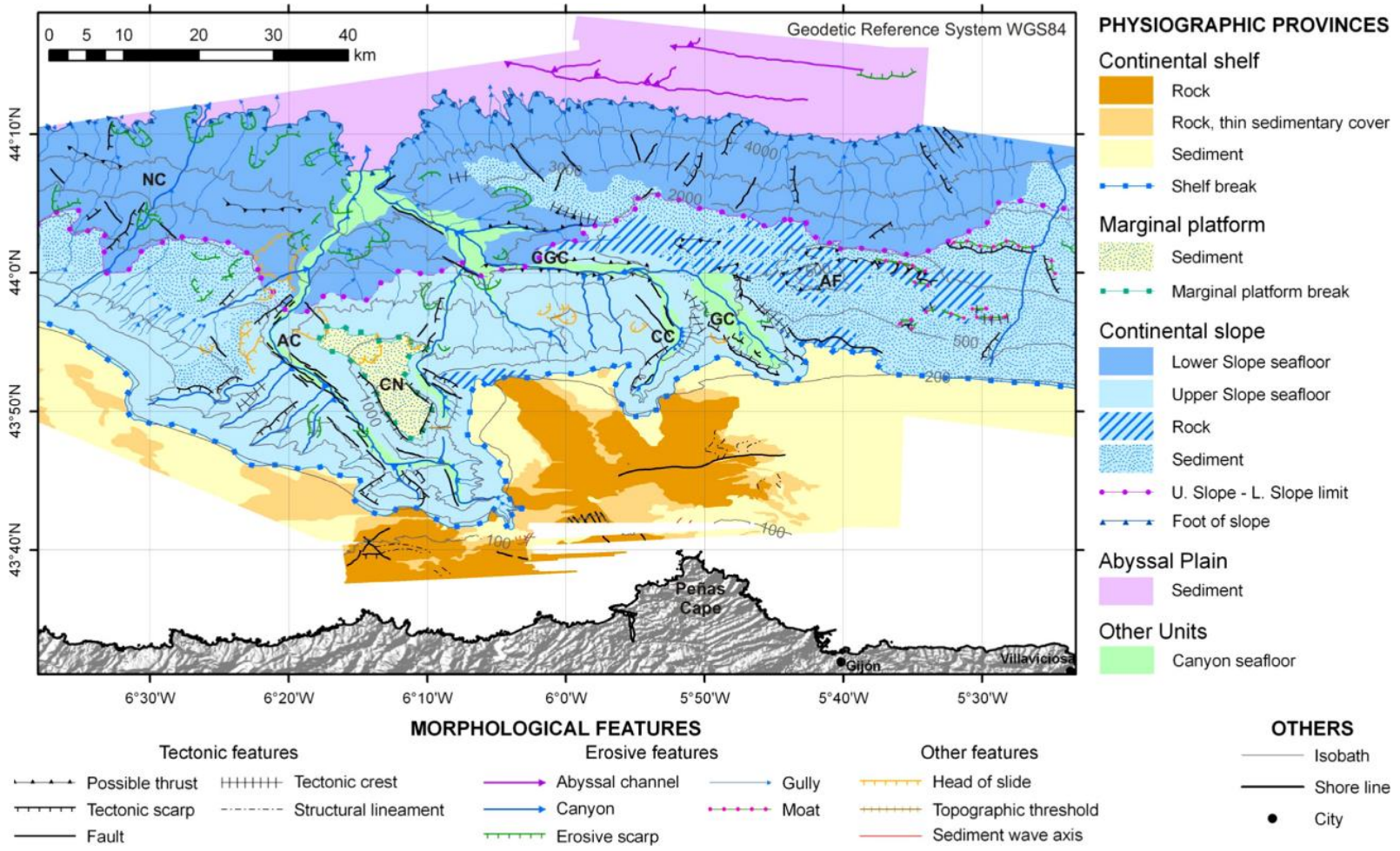


Figure 34. Geomorphologic interpretation map of the ACS area. AC=Avilés Canyon; CC=El Corbiro Canyon; GC=La Gaviera Canyon: CGC=El Corbiro – La Gaviera Canyon; NC=Navia Canyon; CN=El Canto Nuevo marginal platform; AF=El Agudo de Fuera high.

The main feature that characterizes the Lower Continental Slope is the presence of a dense and well-defined network of gullies. Some characteristics of the slope are slightly different on either side of the AC. These networks are better developed on the east flank of the continental slope. East of the AC, it is 10–15 km wide, with a mean gradient of 11–121 (Figure 24 and Figure 25). The general relief shown in transverse profiles across this sector of the Lower Continental Slope is rectilinear to convex (see 3D_diagrams in additional data of the web version of this paper). It is cut by an intricate gully network; at the representation scale of the maps prepared for this paper, we have mapped at least 39 gullies, with a regular distribution (about 800 m between each one). The gully network can be subdivided into three different areas according to orientation. Thus, the gullies located to the East of AC would be oriented in the NW–SE direction, changing to a NE–SW direction in the middle sector of the eastern flank lower slope, the eastern- most gullies on the eastern side reverting to a NW–SE orientation. These last sectors are characterized by smaller gullies that act as tributaries of the longer ones, which coalesce at different water depths. The gully pathways in the three sectors are generally linear and run northwards. The lengths range from 1.9 to 14.7 km, gradients over 151 and reliefs of approximately 100 m mean, and are separated by narrow and sharp ridges.

West of the AC, the Lower Continental Slope is 15–20 km wide, with a mean slope of 7–81 (Figure 25). The gully network is less dense with a total of 12 valleys in about 40 linear kilometers, and has an irregular distribution. The pathways are more curved and ridges are not as narrow and sharp as in the eastern flank. In section, stands out the concave relief of the continental slope in this sector (see "3D_diagrams.tif" in the web version of this paper).

3.3.4. Abyssal plain

Only a narrow strip of the abyssal plain has been surveyed in this project, in the boundary between the foot of the slope (FOS) and the Biscay Abyssal Plain that extends northwards (Figure 35).

The extension of the surveyed area is ~608 km^2 and includes the "triangular-shaped" mouth of the ACS in its contact with the Biscay Abyssal Plain. The gradient is very low, around 0.11, having a relief of 50–60 m in 30 km from east to west (Figure 25 and Figure 35).

The most striking feature is the presence of two deep sea channels; Channel North and Channel South (Figure 35), that we have named Asturias Deep Oceanic Channels (ADOC). The South Channel axis is located at 2500 m from FOS and the North Channel axis is at ~8000 m approximately. A N–S bathymetric profile across both channels (A–A′ in Figure 35) shows a width of 4000 m and a relief of 30 m for the South Channel and a width of 5000 m and relief of 45 m for the North Channel.

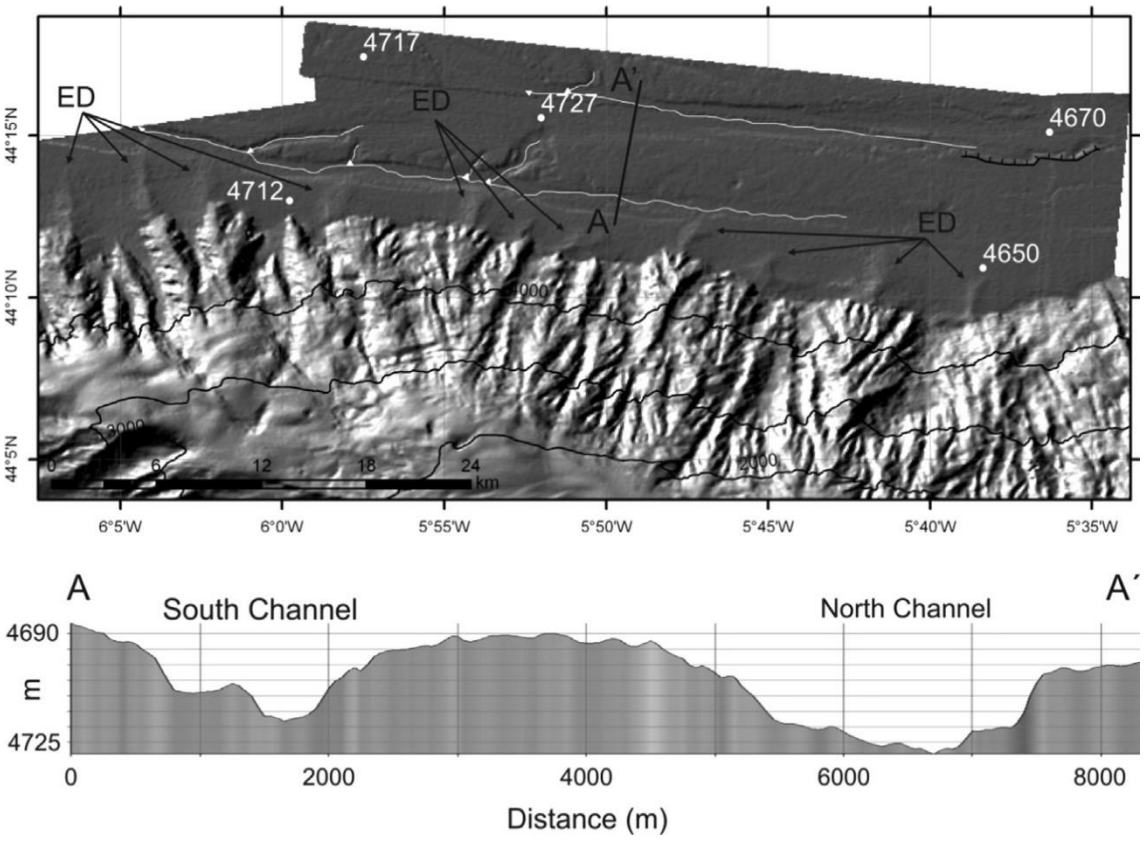


Figure 35. Upper panel: shaded relief map of the Biscay Abyssal Plain east of ACS mouth. Illumination from the NW. White arrows=North and South Asturias Deep Oceanic Channels (ADOC) axis; white dots with associated numbers=water depth in meters. A–A′=S–N bathymetric profile. ED=eroded gully divides. Lower panel: bathymetric S–N profile across ADOC.

At the FOS some eroded distal parts of the gully divides have been identified. These show a smooth and eroded morphology of the gully divide prolongation that, in some cases, imply more than 100 m of erosion from the top of gully divides with respect the areas in which the divides are out of the current erosive action in the Lower Continental Slope (see ED in Figure 35). Another erosive feature observed has been a parallel *erosive scarp* with 25 m relief and 5 km long. The mass-transport processes through the gullies and the products of this erosion must be deposited down to the slope break as depositional bodies, and have not been observed in the area.

3.4. Avilés Canyon System

The ACS includes three major submarine canyons that are: Aviles, El Corbiro and La Gaviera, and another twelve tributary canyons (Figure 24, Table 6).

3.4.1. Avilés Canyon

This submarine canyon crosses the entire continental slope from the rise, and incises on the continental shelf, only 12 km away from the shore line. This first order morphological feature, as others described on this work, has extremely tectonic-influence, being the offshore prolongation of the Ventaniella Fault zone (Boillot, et al., 1971, 1972; Gallastegui, 2000), a NW–SE first- order right-lateral strike-slip fault (Figure 23), where recent seismic activity has been registered (López-Fernández et al., 2004).

The AC is characterized by a V-shaped bottom (Figure 29 and Figure 30), and a well defined axial incision (75 km long), with well differentiated walls. Its head is at a depth of about 128 m, and reaches the abyssal plain at 4766 m (Table 6). It can be divided into three main sections (ACUS, ACMS and ACLS in Figure 28): (1) in the upper section (ACUS), the axial incision has three abrupt direction changes from the head, starting with two gullies (NNW–SSE and WNW–ESE oriented) that converge in a E–W axial incision, then turn to a N–S direction and, joining the AC-1E canyon, change direction again to a roughly E–W oriented valley. To sum up, we have four canyon-sections with three sharp 901 turns; (2) the middle (ACMS) section starts in the confluence of the AC-1W with the main channel, and is NW–SE oriented. In this section, many NW–SE tectonic lineaments close to the axial incision and on the western wall have been observed (Figure 28, Figure 30 and Figure 34); meanwhile the eastern wall is the southwestern flank of El Canto Nuevo marginal platform (described below), with a 231 slope (Figure 25). Tributaries AC-2W to AC-5W join the AC in this section (3) the lower section (ACLS) is roughly NE–SW oriented and has a more irregular bottom, with some erosive scarps and a less marked axial incision. Also some knickpoints and a pothole have been observed (Figure 30 upper panel).

At the mouth of the ACS there is a large triangular-shaped flat area, which connects with the adjacent Biscay Abyssal Plain. This area, that corresponds to the single mouth of the ACS, present located in its east wall a sedimentary wave field that covers an area that is 2500 m long and 2000 m wide (Figure 30). Sand waves have a height of about 10 m and a wavelength of ~300 m, and are distributed along a downslope gradient of 1.81. Grid resolution does not permit identifying all sand waves

clearly, but they appear to have rectilinear, E–W oriented crests spanning only the eastern half of the above mentioned "triangular-shaped ACS mouth". The sediment wave field has a surface of 54 km^2 and the depth range is from 4700 m at the southern tip of the "triangle" to 4766 m at the base, where the Biscay Abyssal Plain begins.

The canyon floor was sampled during different INDEMARES cruises, obtained numerous allochthonous boulders dredged in its axial incision. These samples were interpreted from *visu* analysis as magmatic and metamorphic origin.

3.4.2. El Corbiro Canyon

CC (Figure 24) is part of the ACS. It is located between GC and AC and is characterized by a V-shaped bottom (Figure 31). It shows a pronounced axial incision at its head, less marked in its mouth. The first 12 km of the canyon (from the head) are SW–NW oriented, which then turns at a sharp angle, to show a SE–NW direction towards its mouth in CGC at a depth of 2108 m (Figure 24 and Figure 31). Its head is indented in the shelf for more than 10 km, and its tip is located at a water depth of 176 m.

The walls of the CC are quite similar in its main features, but show some remarkable differences. Its head is made up of several gullies that converge to form the main channel. On the western side, the incision of gullies continues while, on the eastern wall of this higher section of the CC gully, development is very moderate or almost inexistent.

Next to the CC head, there is an elongated elevation (H in Figure 31), whose major axis measures 2.94 km and minor axis 0.99 km, with an area of 1.26 km^2. Its summit is at a depth of 458 m, rising from a surrounding depth of 777 m. This elevation shows clearly asymmetric slopes related to the West side of CC.

Next to the area where CC changes to a NW—SE direction, there is an accumulation of sediment with an unevenness of up to 25 m with respect to the axial incision (S in Figure 31). This sediment accumulation is attached to the western wall and continues for 6.5 km.

From the area where the canyon axial incision turns to NW—SE, the canyon seafloor shows a broadening, and its east side has a greater slope (over 181) and numerous gullies. The west side in this sector presents a lack of gullies and a slope of about 101. In the divide between CC and CGC-1S, three slide scarp heads are clearly visible (Figure 33).

The last section of the canyon partly loses its V-shaped profile and has a flat bottom with stepped slopes (Figure 31). Associated with the western slope, there is a promontory which forces a narrowing and a new turn in the orientation of the canyon, further turning the axial incision of CGC in an E–W direction.

3.4.3. La Gaviera Canyon

GC (Figure 23 and Figure 24) is one of the main tributaries of the ACS. It is located in the easternmost part of the system and is characterized by a U-shaped irregular bottom, which does not exhibit a marked axial incision (Figure 31).

GC shows two clearly differentiated walls. The west side is characterized by the incision of gullies of different magnitude (Figure 31). The first one, which binds to the central gully, constitutes the start of the canyon and is the largest one. The orientation of the gullies varies gradually from N–S in the head, to W–E in the mouth. At the lower part of the slope, some of the gullies come to join. The base of the upper part of this slope is limited by a fault. Deposits/outcrops cut by these gullies are observed close to the canyon floor (Figure 31 upper panel).

The E side of GC clearly shows a more sedimentary character (Figure 31 upper panel). Its outset is controlled by a sedimentary slope at the head, which continues along 2/3 of the canyon. This side has rocky outcrops in the form of "piano keys", with a flat roof and sharp edges, and a W–E prevailing orientation. Slide deposits can also be identified on this E wall of the canyon.

The east wall of GC shows a NW–SE linear crest, 9 km long with a relief of 450 m, from its acute top to the GC axial incision (Figure 31 and Figure 34). Its south limit is located at ~5 km from the canyon head tip, and seems to be the continuation of a striking south face scarp more than 8 km long and with a 30–50 m relief, that displays a "Z-shape" change in directions from SE–NW to E–W (Figure 31).

The canyon main head is constituted by a gully, which binds to the first of those in the east side. The main gully is N–S oriented, turning to NW–SE, when joining the first gully it meets to the east. It also has an outcrop with circular morphology in its central part, with a depth of 355 m, a height of 70 m and a diameter of 640 m. The width of the canyon floor is 1500 m in the upper part, 3250 m in the middle, and 1700 m at the mouth (Table 6). Sedimentary deposits and rock outcrops are observed on the canyon floor. The rocky outcrops can present both pseudo-circular morphology (Figure 31), and rectangular "slab" morphology, with an average size of

1000 m × 500 m. In general, the main axis is NW–SE oriented, showing a steeper profile on the westward oriented flanks. The circular outcrops usually show a smaller size, and are located close to the center of the channel.

The mouth of the canyon has a complex morphology, which almost acts as a barrier. This consists of mounds and elongated rocky outcrops, as well as various sedimentary deposits. Its outlet complex results in an E–W channel direction, where it merges with the CC in the so-called El Corbiro-La Gaviera Canyon (CGC) that runs westwards (Figure 24).

There have also been observed in the area other sedimentary features such as medium size dunes that develop superimposed ripple marks (both straight and sinuous-crested), and ripple marks of different types, such as linear crest, linguoid, lunate, etc. (See Sánchez et al., 2014b).

3.5. Discussion

3.5.1. Continental shelf

Sedimentary processes occur in the study area, generating the different structures and deposits described in this paper. The limited extension of the sediment waves observed in the continental shelf, most of them beveled (flat roofed by erosive effect), is evidence of the important dynamics of the shelf area, probably enhanced by the nearby location of high relief rock outcrops (R in Figure 26 and Figure 27) and the proximity of AC head. Also, the barchan-type dunes suggest a current direction coming from the west at this point of the continental shelf. Accordingly, the outer shelf and shelf break in the southern Bay of Biscay is strongly affected by the seasonal development of intense poleward flows (Pingree & Le Cann, 1990), which can exhibit pulses exceeding 1 m/s (Le Cann & Serpette, 2009). There are studies (Berné et al., 1998) that affirm some particular sand bodies consist mainly of lowstand deposits reworked during transgressions. According to these, the intense erosion by combined waves and tidal currents could have resulted in the shaping of shore-oblique ridges through cannibalization of older lowstand deposits.

On the other hand, the strong currents on the shelf are responsible for the very little sedimentary cover of the study area. Ercilla et al. (2008) consider the Cantabrian margin as starved; the sediment eroded in the Cantabrian Mountains bypass the continental shelf due its intense dynamic regime, characterized by a strong semidiurnal tide and the seasonal development of opposing shelf currents in the up-

welling/downwelling regime, and is caught by submarine canyon systems to the abyssal plain. The lack of sediments appears to be influenced by the intense shelf dynamic regime characterized by the seasonal development of opposing shelf currents in the upwelling/downwelling (Lavín et al. 2006) and a fairly strong semidiurnal tide with barotropic M2 major semi axis estimated 5–10 cm/s around the central Cantabrian Sea shelf in the proximity of Peñas Cape (Fanjul et al., 1997), (Figure 31 or Pairaud et al., 2008). However, due to the strong fisheries activity in the narrow Cantabrian Sea shelf (Sánchez & Olaso, 2004) there is a chronic lack of Lagrangian current measurements in the area. The conduit of sediments from source (coastal ranges) to sink (abyssal plain) in our study area is favored by four first order canyons: La Gaviera, El Corbiro, Avilés and Navia and the dense gully network between them. Pingree (1993) deployed 3 deep dorgued buoys (300–500 m) for long-term missions intended to cover the Bay of Biscay circulation over a wide region. Interestingly, 2 of them ended up (reached shallower water) in Aviles Canyon, leading to think that upper layers flow might be convergent and directed up canyon thus balancing deeper down-canyon flows.

All in all, general cover thickness of unconsolidated sediments is very low. The subsuperficial acoustic basement is present in almost all the sedimentary areas. In other cases, the flat and horizontal seafloor areas correspond to rocky series which are heavily eroded and devoid of any sedimentary cover (See left part of seismic line in Figure 27).

From evidences of tectonic activity observed in the bathymetric profile and morphology and high resolution seismic sections of high relief rock outcrops, we can speculate that they have a structural origin; and the second high described could, apparently, correspond to a north dipping linear rock outcrop. The massive relief outcrops present the same magnitude of relief but their morphology is smoother. The rock massif NNW–SSE oriented (MR in Figure 26) turns sharply to the west at his northern end. This NW–SE oriented spur features the DR-1 rock dredge, sampled during the INDEMARES-AVILES0410 survey in the position 43° 52.0′ N and 006° 06.81′ W, at a depth of 266 m (white star in Figure 26). *De visu* description of the sample corresponds to recrystallized fine-grained sandstones. The FR rocky outcrops show folded and fractured morphologies, clear evidences of the strong tectonic activity in this area. Thus, the erosion surface observed reflects the intense erosive processes produced during the sea level migrations across the shelf and subaerial erosive processes during shelf exposure.

Erosion seems to be the dominant sedimentary process on the Cantabrian continental margin, which is why there is no recent sedimentation, at least on the outer shelf (Ercilla et al., 2008). The shelf break is sharp and does not display the typical ramp scale in cross-section and bulges in plain view, which tends to be indicative of prograding sediments making up the recent sedimentary architecture of other continental shelves of the Iberian margin (Ercilla et al., 1994a, 1994b; Hernández-Molina et al., 2002; among others). According to these authors, the presence of wave morphology in the area suggests seabed rework related to hydrodynamic processes (e.g. coastal/shelf currents) that control the modern sediment distribution.

3.5.2. Upper Continental Slope

The continental slope of the Bay of Biscay is an area of intense slope features (Ercilla et al., 2008). Main sedimentary, erosive and tectonic features have been described. The depositional bodies studied in the continental slope could possibly correspond to sedimentary drifts, but their hyperbolic seafloor generates several doubts. Another possibility is that it could be amalgamated lobe deposits formed by sediment transported along the gullies. In Figure 29, the sediment body marked B in the upper panel acts as a recent obstacle on the drainage pattern of the upper slope, abruptly interrupting the pathways of at least eleven gullies that start close to the continental shelf break; three of these gullies are actually eroding the sedimentary deposit, probably an initial drift, so it seems to be a competition between recent sedimentary (possibly along-slope) and erosive (across-slope) processes. The possible interaction of down-slope and along-slope processes in this sector of the North Iberia margin could be the subject of further discussion in the future.

The described moats are indicative of the erosive capacity of east flowing MOW (long-term average values of the order of 5 cm/s, (Pingree & Le Cann, 1990; Colas, 2003; Iorga & Lozier, 1999b). This area was pointed also by Hernández-Molina et al. (2011) as a potential area where contourite features could be present, based on numerical bottom-current simulations. Thus, taking into account these considerations and the parallel and sub-parallel internal structure in high resolution seismic profile of the sediment body described at the east of the ACS (Figure 29), it could be interpreted as a plastered drift. Also noticeable is the presence of some other erosive features on the surface of this drift that could be related to along-slope dynamics. The characteristics described for these sedimentary bodies, and the proximity to the Contourite Depositional System of Le Danois Bank (van Rooij et al., 2010), lead us to interpret these deposits as possible plastered drifts, related to the flow of the MOW

eastwards, responsible for other similar deposits found in other areas of the Cantabrian Sea (Ercilla et al., 2008; Hernández-Molina et al., 2009, 2011).

Additionally, a mass-wasting system is identified along the continental slope, especially in the gully drainage system. The mass-transport processes are evidenced from the erosive scarps mapped.

The morphological features observed in the Navia Canyon and the proto-canyon identified, being lineal escarpments parallel to the axial incision and tectonic scarps and their rectilinear pathway, respectively, seem to be tectonic in origin. Where NC connects to the lower sector (close to the mouth of the canyon), erosive scarps have been observed. This kind of erosive scarps could be interpreted as possible knickpoints, located in the axes of canyons and gullies of the lower slope, and are only noticed westwards of the ACS.

The tilted geometry observed at El Canto Nuevo seamount top, and the rectilinear scarps coincident with the main structural directions described in this region, indicate a tectonic origin for that marginal platform, suggesting that it is a horst structure limited by normal faults and slightly tilted to the NW (Boillot et al., 1971). El Agudo de Fuera seamount seems also to be tectonically controlled by compressive structures directed roughly E–W. The erosive scarps are evidence of erosion and a series of local mass-movements of sediments to deeper areas. Also, tectonic scarps and slides may have been caused by fault scarp steepness and instability.

3.5.3. Lower Continental Slope

Finally, the lower continental slope has been described with its morphological features. Two regions of the lower continental slope can be characterized based on the variability and distribution of the network gullies, to east of AC and westward of AC. The geomorphological features observed in this area suggest that the lower slope has been affected by mass-wasting processes eroding the seafloor and forming a gully network, slided masses and depositional lobes as a consequence of these processes at the foot of the slope in the eastern section. The concave relief in the western section of the Lower Continental Slope is probably related to the presence of a hidden thrust in the middle part of the lower slope, which would be structurally consistent with the general structural scheme described for the margin (Álvarez-Marrón et al., 1995; Gallastegui, 2000; Gallastegui et al., 2002; Ercilla et al., 2008).

3.5.4. Abyssal plain

The presence of a triangular-shaped depositional body with sediment waves at 4000 m of water depth at the mouth of the AC and a relief of 10 m, could be originated by turbiditic processes and/or discharge of mass-flows through the ACS. The situation of the sediment waves and the orientation of their ridges suggest this origin.

Geomorphology and gradient characteristics of the Asturias Deep Oceanic Channels (ADOC) allow us to speculate that both channels flows westwards, having sections of confined flux and others are acting as unconfined flow areas (Figure 35). As mean abyssal currents are extremely weak and dominated by mesoscale (e.g. Dickson et. al, 1985), such canalized flow of matter and energy is indicative of a highly energetic and localized process, probably related to the distal fan at the termination of the large turbiditic system fed by Cap Ferret, Capbreton and other large canyons (Santander, Torrelavega, Lastres and Llanes) described by Faugères et al. (1998) and Ercilla et al. (2008). Thus, these channels could be considered as minor order distributary channels of the Cap Ferret – Capbreton turbidite system, as Ercilla et al. (2008) stated.

Another geomorphologic character, that supports the strong erosive capability of the turbiditic current flowing westwards parallel to the FOS, is the presence of eroded distal parts of the gully divides that we may appreciate in some of them. The presence of an erosive scarp also supports our contention that a very strong current flowing westwards is responsible for erosion of the inter-gully divides, the presence of two deep channels of 30 and 45 m relief and 5–8 km width, and the creation of linear scarp, parallel to the flow (Figure 35). The absence of deposits at FOS as a consequence of the mass-transport activity also supports this interpretation.

3.5.5. Avilés Canyon System

The ACS seems to collect and channel the sediment contributions of the Narcea and Nalón rivers, as well as possible along-shelf sedimentary transport (Figure 23). The complex tectonic network in this region is responsible also for the abrupt changes in the direction of the AC axis, mainly from ENE–WSW to NW–SE. The NW–SE tectonic lineaments close to the axial incision and on the western wall have been interpreted as faults (Figure 29, Figure 30 and Figure 34).

The sediment wave field at the mouth of the AC, also described in the Abyssal Plain chapter, could be originated by turbiditic processes and/or discharge of mass-flows

through the canyon as the situation of the sediment waves and the orientation of their crest suggest.

Pseudo-circular and "slab" morphologies with a steeper profile have been identified on the western flank of the GC. Sometimes these areas limit narrow passages acting as sedimentary bypass that favor the deposition of sediments when they disappear. The circular outcrops observed are usually biogenic in origin (B in Figure 31 lower panel). On the other hand, some rock samples collected in the walls have been classified as slightly cohesive marls and sandstones. The scarp and the linear crest described at the east wall of GC may be related to the complex tectonic and structural framework in this area. The course of GC is divided into several E–W oriented steps. This morphology determines the current circulation patterns in the canyon, as evidenced by the different sedimentary structures present in it.

Different ranges in the gully scale have been observed, from tens of meters to kilometers long, separated by narrow and sharp ridges, where smaller gullies act as tributaries of the larger ones, resulting in a network connection between them that lead into the canyon floor. This submarine canyon region also features slides and mass-movement transport, as observed from the sedimentary features described. The presence of slides at the head and walls of the canyons reveals a movement that evolved in mass-transport processes and turbidity currents, identified as a mass-wasting system. These slides, mass-flows and short turbidity currents eroded the seafloor forming scars, slide masses and deformed sediments defining an irregular seafloor and gully drainage system.

The presence of multiple slides, failures accurately shaped in plan view, in the walls and upper sector of the canyons, seem to be the result of retrogressive failures, according to other authors (Gonthier et al., 2006; Ercilla et al., 2008) who have identified these same features in Capbreton Canyon and also related the steep slope gradients of the canyons walls.

3.6. Conclusions

The continental shelf in the North Iberia margin displays a generally flat morphology, with scarce sedimentary cover and wide areas of eroded basement rocks (Mesozoic and Paleozoic) (Figure 24–27 and Figure 34). A strong hydrodynamic activity on the continental shelf is responsible for the transport of sediment toward the heads of canyons to the abyssal plain. There are some local high relief outcrops that

show the structural trends (folding and faulting) that relate its nature with the rocks of the near Asturian littoral areas (Figure 23).

The ACS, which includes from east to west GC, CC and the AC, shows a clear tectonic imprint in its actual morphology. Sharp bends near 90° of their axes are indicative of their structural origin.

Morphology analysis and interpretation of very high resolution seismic reflection profiles allow us to identify some structural lineation ascribed to faulting along the walls of GC, CC and the AC (Figure 34). The limited penetration of our seismic source is not enough to confirm the deeper tectonic nature of the aforementioned zones.

GC and CC have a special along-slope profile, having a structural E–W rock outcrop that seems to be the western prolongation of AF high, almost "closing" the along-slope talweg and forcing both axes to join, turning westward almost 90° and running along the southern flank of the E–W outcrop mentioned above (Figure 34). GC, CC and the AC have an initial origin related with NW–SE structures (as Ventaniella Fault zone), but GC and CC are affected also by E–W structures (thrusts). The different U-shaped transverse profile of GC would seem generated by the initial fault systems that controlled their morphology in origin, the different nature of their substrate rocks (mainly marls) and the special hydrography observed in the canyon (bottom currents up to 150 cm/s were measured at c.a. 1000 m depth at the GC axis, see Sánchez et al., 2014b).

Avilés Canyon shows evidence of activity, related to the numerous allochthonous boulders dredged in its axial incision, and also to the presence at its mouth of a sand-wave field covering a surface of 54 km^2, with E–W crested sediment waves 10 m high (Figure 30).

The existence of two Deep Oceanic Channels in the small area surveyed of the Biscay Abyssal Plain (ADOC, Figure 35) of 30–45 m relief, running parallel to FOS, can be related to the distal fan of the Cap Ferret – Capbreton turbiditic system described by Faugères et al., 1998 and Ercilla et al., 2008. The westward turbiditic current may have high erosive ability here, as in addition to the ADOC, there is also a 5 km long and 25 m high erosive scarp, and indices of erosion of an almost 100 m high relief of the gully divides.

Sedimentary processes in this part of the Asturian margin seem to be conditioned by strong hydrodynamic in the shelf, that permit the bypass of sediment to the Abyssal plain using the numerous canyons and gullies. The submarine canyons in this

area are mainly controlled by tectonic activity. Presence of important gravity sliding is also remarkable in the across-slope erosive process. Finally, the sedimentary load transported to the abyssal plain is mobilized westwards by the presence of the ADOC, been the deep currents responsible of sediments transport to the west.

Acknowledgments

The study of Avilés Canyon System has been done within the framework of the EU-funded Nature LIFE INDEMARES Project (07/NAT/E/000732). The Fundación Biodiversidad (Spanish Ministry of Agriculture, Food and Environment) was responsible for the coordination of this project, involving different scientific institutions and NGOs'.

We are indebted to the Captain, officers and crew of R/V Vizconde de Eza (Spanish General Secretariat of Fisheries, SGP) for their efforts during the cruises of the INDEMARES-AVILÉS project north of Asturias. We also wish to thank SGP, providers of ship time and technical support, and the members of the Spanish Oceanographic Institute (IEO) who participated in the cruises. Our gratitude also goes to the SGP-TRAGSA Cartography Group who participated in the different cruises.

Thanks also are due to Carlos Garcia Soto associate editor, Robin Pingree, Gemma Ercilla and one anonymous referee; their constructive comments were of considerable help in revising and improve the manuscript.



CAPÍTULO 4

Morphosedimentary characterization of the Capbreton Submarine Canyon System, Bay of Biscay (Cantabrian Sea)

Dendrophyllia cornigera - Sistema de cañones submarinos de Capbreton (Foto: IEO)

MORPHOSEDIMENTARY CHARACTERIZATION OF THE CAPBRETON SUBMARINE CANYON SYSTEM, BAY OF BISCAY (CANTABRIAN SEA)

Este capítulo es una versión editada del artículo de investigación publicado en *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 274*, por María Gómez-Ballesteros, Beatriz Arrese-González, Irene Pilar Díez-García, Ibon Galparsoro, Olga Sánchez-Guillamón, Natalia Martínez-Carreño, Miriam Sayago-Gil, Carmen López-Rodríguez, Augusto Rodríguez y Francisco Sánchez en 2022 con el título «Morphosedimentary characterization of the Capbreton submarine canyon system, Bay of Biscay (Cantabrian Sea),». https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107955

Abstract

Various studies have been carried out to the declaration of new marine protected areas for their importance for habitats, according to the Natura 2000 Network. One of these sites is a sector of the Capbreton Submarine Canyon System, located in front of the Basque Country coast, in the Bay of Biscay (North Atlantic). During the Intemares_CapBreton 0619 and 0620 surveys; bathymetric, backscatter, high-resolution parametric data and samples of sediments, rocks and benthic communities from the seabed were acquired. The study was completed by recording video transects with the underwater vehicle ROTV Politolana from the IEO. The processing and analysis of the geophysical information has allowed obtaining a detailed bathymetry grid of 10 × 10 m, from which the first morphosedimentary characterization of the system of tributary canyons to the E-W trending main canyon and its interfluves has been made. One of the main features of this canyon system is the presence of a large pockmark field on adjacent platforms between canyons, located between 500 and 1000 m water depth. Within this field, pockmarks are shown as circular to elliptical depressions, most likely related to gas rich-fluid emissions to the subsurface.

Keywords**:** Capbreton Canyon, bathymetry, pockmark, geomorphology.

4.1. Introduction

Submarine canyon systems are very common morphological features that occur on both passive and active continental margins (Harris et al., 2014), acting as preferential sediment transfer pathways and sources from the shelf realm to adjacent deep basins (Puig et al., 2014). Submarine canyons may determine bottom water circulation and so on, remobilizing sediments and affecting communities' productivity being considered as hotspot of benthic biodiversity (de Leo et al., 2010). Anyhow, the canyon influence depends on its shape, dimension and relative position on the continental margin (Shepard, 1972).

Many recent studies on the mapping of submarine canyon seafloor and habitats, using multidisciplinary techniques as high resolution multibeam echosounders and profilers and imagery, have allowed illustrating the seafloor and benthic complexity, and to investigate the formation, interaction and evolution of these environments (Gómez-Ballesteros et al., 2014; Quattrini et al., 2015; van den Beld et al., 2017).

Capbreton Canyon is located in the eastern region of the Cantabrian Sea (in front of the Machichaco Cape) in the Bay of Biscay (North Atlantic), and runs approximately parallel to the Spanish coast in an east-west direction (Figure 36). The southern slope of the canyon is characterized by the presence of several tributary canyons which intersect the slope and running perpendicular to the coast (south–north) (Cirac et al., 2001; Gaudin, 2006). The heads of these canyons are approximately 200 m deep and the canyon axis can exceed 2000 m when they reach the main valley of the Capbreton Canyon depth. This system of canyons covers an extensive area of about 2500 km^2. Using previous available cartographic information, relevant areas were detected for the possible settlement of habitats 1170 and 1180, linked to reefs and submarine structures generated by gas-rich fluids emission (Annex I of the Habitats Directive, EC, 2013b) (Galparsoro et al., 2012, 2015, 2020). Prior analysis of existing datasets revealed that this area was probably eligible for inclusion in the marine Natura 2000 network. Therefore, within the scope of the LIFE IP INTEMARES project, it was proposed to carry out exhaustive studies only of some of the tributary canyons where, based on previous bathymetry data, a greater presence of rocky bottoms and zones interspersed between the tributary canyons of Capbreton were observed.

Within this context, the main objective of this study was to perform a detailed morphosedimentary characterization of the Capbreton Canyon System (CBCS). For that purpose, new bathymetric, backscatter information and parametric seismic profiles

recorded during LIFE IP INTEMARES project have been analyzed. Moreover, sediment samples and underwater videos recovered and recorded during the same project expeditions have also been integrated in this study. The morphosedimentary characterization is fundamental to increase the knowledge on canyon system functioning in the ecosystems and to study their conservation status and threats. This kind of integrated studies will contribute to the selection and proposal of protected sites to be included in the existing Natura 2000 marine Network.

4.2. Geological and oceanographic settings

The study area is located between the coordinates 3° 0′ W and 2° 3′ W in longitude and 43° 30′ N and 43° 50′ N in latitude (Figure 36).

4.2.1. Geological setting

Capbreton Submarine Canyon is located on the Cantabrian margin, which is classified as a complex passive margin, with a tectonic evolution dating from the Jurassic to present (Pascual et al., 2004; Maestro et al., 2015). This evolution started with the opening of the Bay of Biscay by the oceanic expansion of the North Atlantic (Le Pichon et al., 1971; Sibuet et al., 2004). This movement caused the opening of the Bay of Biscay from W-E, generating oceanic crust. After the Iberian plate became independent, in the Aptian-Albian, an anti-clockwise rotation began, favored by the push of the African plate that caused an oblique NE-SE convergence with Europe at the beginning of the Tertiary period, in the Cenozoic (Maestro et al., 2013). The convergence between the Iberian and the Eurasian plates favored the inversion of the extensional structures to contractional ones (Pulgar et al., 1999), shortening the Cantabrian Margin and creating an abrupt-looking slope that is currently preserved. During Neogene, the network of submarine canyons and tributaries were developed, and the sedimentation that is currently observed in the platforms annexed to the canyon, smoothed the morphology related to tectonics (Gómez-Ballesteros et al., 2014).

The most remarkable geomorphological feature in this area is Capbreton Canyon. Its head is located immediately next to the shore (Lobo et al., 2015). The Capbreton Canyon forms a 300 km long, meandering a submarine valley, reaching depths of up to 3800 m (Brocheray et al., 2014), with an E-W orientation, highly influenced by tectonic processes that gave rise to the margin (Boillot & Malod, 1988; Cirac et al., 2001). The southern flank of the canyon is dissected by tributary valleys, which are approximately perpendicular to the isobaths of the continental slope. The heads of

these tributary canyons are located at the 200 m isobath. There are nine main canyons with lengths from 16 to 34 km, and widths between 2.5 and 5 km (Galparsoro et al., 2020). In this sector, tributaries instead of connecting directly with the main canyon, they do it through terraces (Gaudin, 2006).

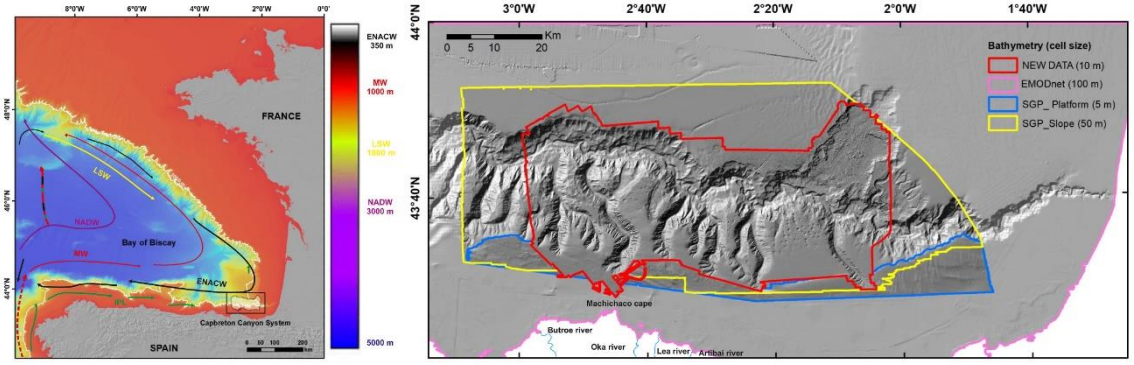


Figure 36. Study site location within the southeastern region of the Bay of Biscay and multibeam bathymetry available of the study area. Inset: Main hydrographic circulation patterns and mean flow values (numerals in cm s^{-1}) largely from Pingree et al. (1986) and González et al. (2004). Red arrows = Mediterranean Water (MW); Yellow arrows = Labrador Sea Water (LSW); Black arrows = North Atlantic Central Water (ENACW); Purple arrows = North Atlantic Deep Water (NAWD); Green arrows = Iberian Poleward Water (IPL). (Modified from Gómez-Ballesteros et al., 2014). (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

4.2.2. Oceanographic setting

The Capbreton Canyon is influenced by a system of boundary currents (Figure 36) affecting the eastern region of the North Atlantic (González et al., 2004; Sánchez et al., 2014a). Studies on the oceanographic conditions of this area reveal stratification along the water column in water bodies of different density (Montero-Serrano et al., 2013; Llave et al., 2015). Most of these water bodies (Figure 36) are formed in the North Atlantic or are the result of the interaction of Atlantic water bodies with those formed in the Mediterranean (Pollard et al., 1996). Based on their distribution from surface to bottom, they can be classified as follows:

- Eastern North Atlantic Central Water (ENACW): It extends from 400 to 600 m depths (Ruiz-Villareal et al., 2006), and is divided in two water bodies. One of them is cooler and with lower salinity, which has a subpolar origin (ENACWsp) (Harvey, 1982), and the other one has a warmer subtropical origin with cyclonic circulation (Fraga et al., 1982; Llave et al., 2015).

- Mediterranean Outflow Water (MOW): It constitutes water of Mediterranean origin that appears between 700 and 1400 m depths. It extends from the Gulf of Cadiz along the western Iberian margin to reach the Cantabrian margin. It is a body of water with high salinity and temperatures around 10 °C, considered abnormally high (Pingree & Le Cann, 1990; Díaz del Río et al., 1998; Iorga & Lozier, 1999a).

- Labrador Sea Water (LSW): This water is coming from the south of Ireland, entering from the northwest of the Bay of Biscay, below 1800 m depth. It is characterized by low temperature, below 4 °C, with very low salinity (van Aken, 2002; Sánchez et al., 2014a).

- North Atlantic Deep Water (NAWD): It is formed by mixtures of waters of Arctic origin, it is present up to 3000 m depth (Pingree & Le Cann, 1990; McCave et al., 2001).

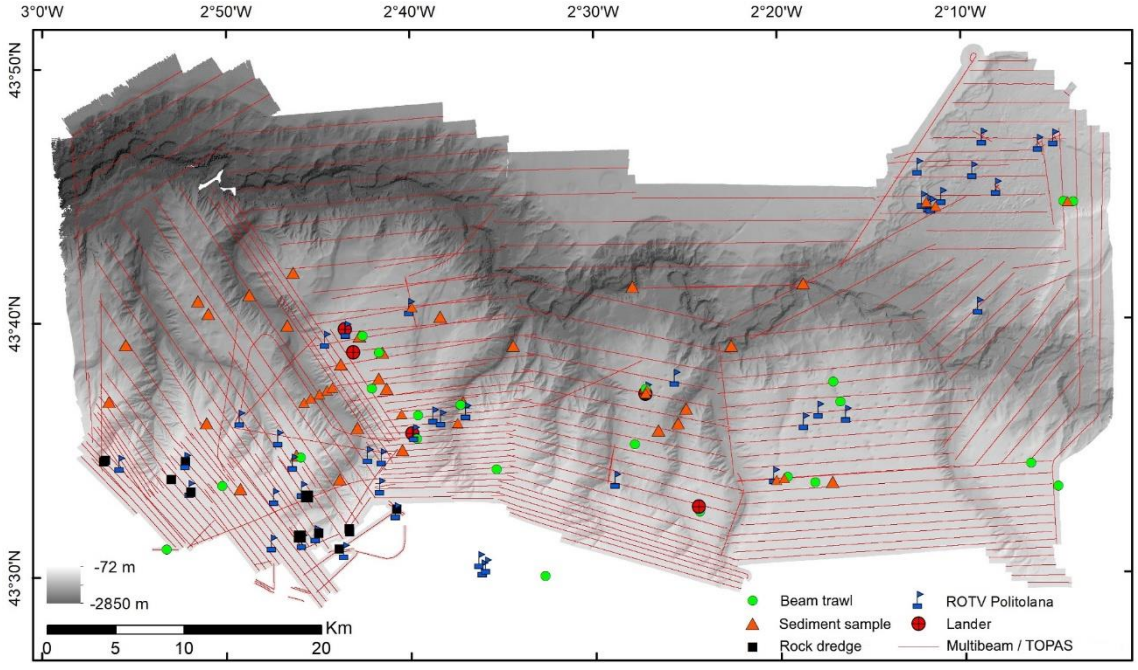


Figure 37. Location of the sampling station during Intemares_Capbreton 0619 y 0620 surveys.

In addition to large-scale currents, the Capbreton Canyon is influenced by local hydrodynamics (Mazières et al., 2014). Two types of currents should be noted at this level: Internal waves generated by the upward and downward movements of water bodies (Pingree et al., 1986) and turbidity currents that transfer particles of various sizes from the continental shelf to deeper areas (Mulder et al., 2012).

4.3. Material and methods

4.3.1. Bathymetric and backscatter data

Data recording was carried out between 2019 and 2020 during two oceanographic cruises (Figure 37) on board the R/V Ramón Margalef owned by the Spanish Institute of Oceanography (IEO).

The multibeam echosounder used was a Kongsberg EM-710 transmitting from 40 to100 kHz, with an acquisition depth from less than 3 m below its transducers and more than 2000 m. The vessel speed was between 5 and 7 kn, to ensure the quality of the information collected and considering an overlap between lines suitable for 100% coverage of the study area. In order to calibrate multibeam echosounder and obtain sound propagation data in the water column, 8 sound velocity profiles of full water column using a AML SV Plus profiler were thrown. A total of 2640 km of navigation were covered, sweeping an area of interest of 2500 km^2 from 72 to more than 2862 m on the lower slope (Figure 37).

Data acquisition software was SIS (*Seafloor Information System*) v4.3.2. and data processing was undertaken with the software CARIS HIPS and SIPS v11.3, generating CUBE bathymetric grids at 10 to 5 m of resolution for the complete study area and for the intertributary platforms, respectively. This software allows applying data filtering and tide corrections, in that case, using the records of the Bilbao 3 Tide Gauge in Bilbao Port (3.05°W, 43.35°N).

Also, backscatter was processed using GeoCoder algorithm resulting into a grid of 10 m of resolution, and a 5 m resolution for specific areas. Finally, Digital Elevation Model (DEM) was integrated into an ArcGIS Desktop v10.8 project (Figure 38).

Analyzing the information from the bathymetric data, the ArcGIS spatial analyst tools packages have been used to obtain the hillshade models and other terrain variables such as slope, curvature index, aspect and seabed roughness (Figure 39).

The bathymetric position index (BPI) from the 10 m resolution DEM was calculated using the Benthic Terrain Modeler (BTM), a module of ArcGIS which provides a supervised seafloor classification (Walbridge et al., 2018).

A hierarchy of canyons was developed using the ArcGIS Hydrology tools. Specifically, a workflow was created with this module using a semi-automatic routine to calculate the flow accumulation and its orientation based on the orientation and

slope for each cell defined for the canyon edge track. These data and geomorphological criteria are decisive to obtain most appropriate flow network with a differentiated hierarchy. Thus, it is possible to characterize the importance of each channel according to its contribution to the whole canyon system.

4.3.2. High-resolution seismic profiles

High-resolution seismic profiles were acquired with a hull-mounted TOPAS PS18 parametric echosounder to obtain information on the shallow structure of the area. This equipment is based on the reflection of seismic waves in the seafloor by an acoustic pulse and emitting simultaneously two close frequencies, between 16 and 20 kHz (Foote et al., 2010). In this way, a unique low frequency pulse is achieved by the difference between both, obtaining wide and penetration in the seafloor. The parametric profiles where lately introduced in the Kingdom IHS Markit software for its visualization and interpretation.

4.3.3. Surficial sediment samples

A total of 110 sediment samples were mainly recovered using a Smith-McIntyre dredge from the continental shelf to the tributaries and the main canyon, during both oceanographic surveys and further AZTI sediment database (Figure 37). Granulometric analysis and content of organic matter has been realized.

The sedimentary characterization has been supported by the processed data of backscattering mosaic, integrating grain size data from the surface sediment samples for reflectivity calibration.

4.3.4. Imagery data

To characterize the seabed facies and identify the species (ground-truthing approach), a total of 40 visual transects were carried out using the Remotely Operated Towed Vehicle (ROTV) Politolana (Sánchez & Rodríguez, 2013) (Figure 37). This photogram metric towed vehicle can be operated to a maximum of 2000 m depth. The transects were carried out with the vehicle moving at 0.7 ± 0.1 knots and flying at 1.0–3.5 m from the seafloor, altitudes necessary for the correct lighting of the images. The ROTV is equipped with a high-definition video camera, installed with a forward angle of 45° with respect to the bottom, which records the entire track of the transect. It also has a system of photogrammetry located in zenithal position based on a Nikon Z6 digital camera and four green parallel laser beams that make a still picture in a

time-lapse mode each 10 seconds. The scaling of the zenithal image is very accurate (resolution ~ 1 mm), allowing us to estimate the size and density of species and their coverage on the different substratum types. The accurate location of the vehicle over the bottom is obtained through a USBL (Ultra-Short Base Line) transponder based on a HiPAP 500 Kongsberg system. The configuration provides information for sizing the facies, for estimating the biocenosis densities characterizing distinct habitats, and for associating them with other environmental characteristics.

The visual transects were recorded within the bathymetric range of 91–1190 m. They yielded a total of more than 11,000 valid images for photogrammetric areal quantification of occupied facies and for density estimates of species using the methodology explained in Sánchez et al. (2009). A total of 8.9 Ha were sampled with valid images along transects of 600 m of average length.

A lander system (Geodia), designed to obtain high frequency bottom photography and environmental variables, was used for deployment at strategic locations in the area during the last survey. The system consists of a ballasted tripod made of stainless steel equipped with a submarine camera, baits and different sensors (CTD probe and Aquadopp singlepoint current meter). The structure was deployed and recovered with a main rope with buoyancy elements attached to it. The system was deployed on 6 stations at a range of 267–905 m depth. It was programmed at 1-min intervals taken as 30' burst-sampling periods.

4.4. Results

Using a DEM with a mesh size of 10 × 10 m for the complete area (Figure 38 and Table 7. Toponymy in the study area (Capbreton Canyon System).) and more detailed resolution, 5 × 5 m, for the intertributary platforms, a geomorphological characterization of the Capbreton Canyon System has been done.

Derivative maps such as slope, curvature, aspect and seabed roughness (Figure 39), and the information provided by the backscatter mosaics, give an idea of the complexity of the seabed of the area.

The slope gradient range between 0 and 50°, being the average slope of 12° (Figure 39B). The steepest slopes are associated with the incisions of the tributary canyons in a range of 8 to 50°, while the rest of the area barely exceeds 6° of slope.

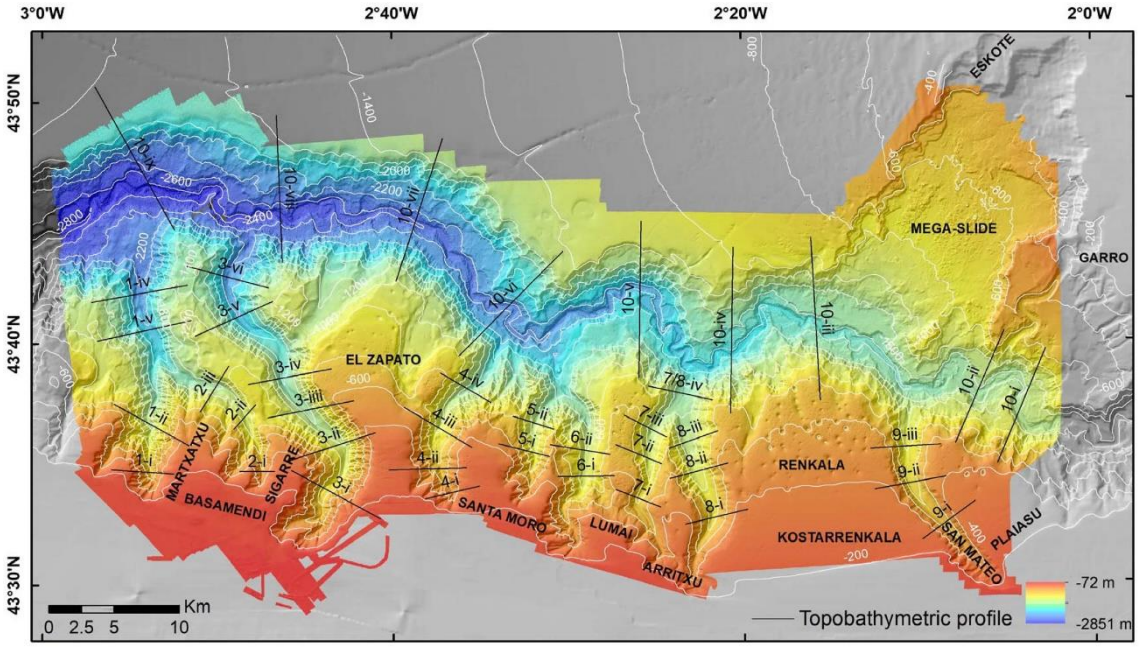


Figure 38. Digital elevation model (10 m resolution) with location of the topo-bathymetric profiles in Figure 43 and the main toponyms of the area in Table 7. Areas with no new acquired high-resolution multibeam bathymetry have been completed with EMODnet bathymetry grid (grey colour). The isobaths equidistance is 200 m.

Table 7. Toponymy in the study area (Capbreton Canyon System).

Morphological elements	Names
Rocky outcrops	Basamendi
Intertributary platforms and pockmarks fields (CBPF)	
	Martxatxu
	Sigarre
	El Zapato
	Santa Moro
	Lumai
	Arritxu
	Renkala
	Plaiasu
Capbreton Canyon System (CBCS)	
Main canyon (CBC)	Capbreton
Tributary canyons (from E to W)	CB-1
	CB-2
	CB-3
	CB-4
	CB-5
	CB-6
	CB-7
	CB-8
	CB-9
Mega-slide (CBMS)	

In general, high backscatter values (Figure 39F) in the range of 8 to −18 dB correspond to hard substrates such as rocky outcrops and basement substrates as well as zones with very low sedimentary thickness. Low backscatter values correspond to soft materials formed by sands and muds, with values ranging between −18 and −23dB depending on the nature of the sediment. Those low values predominate in the study area, indicating the presence of soft bottoms.

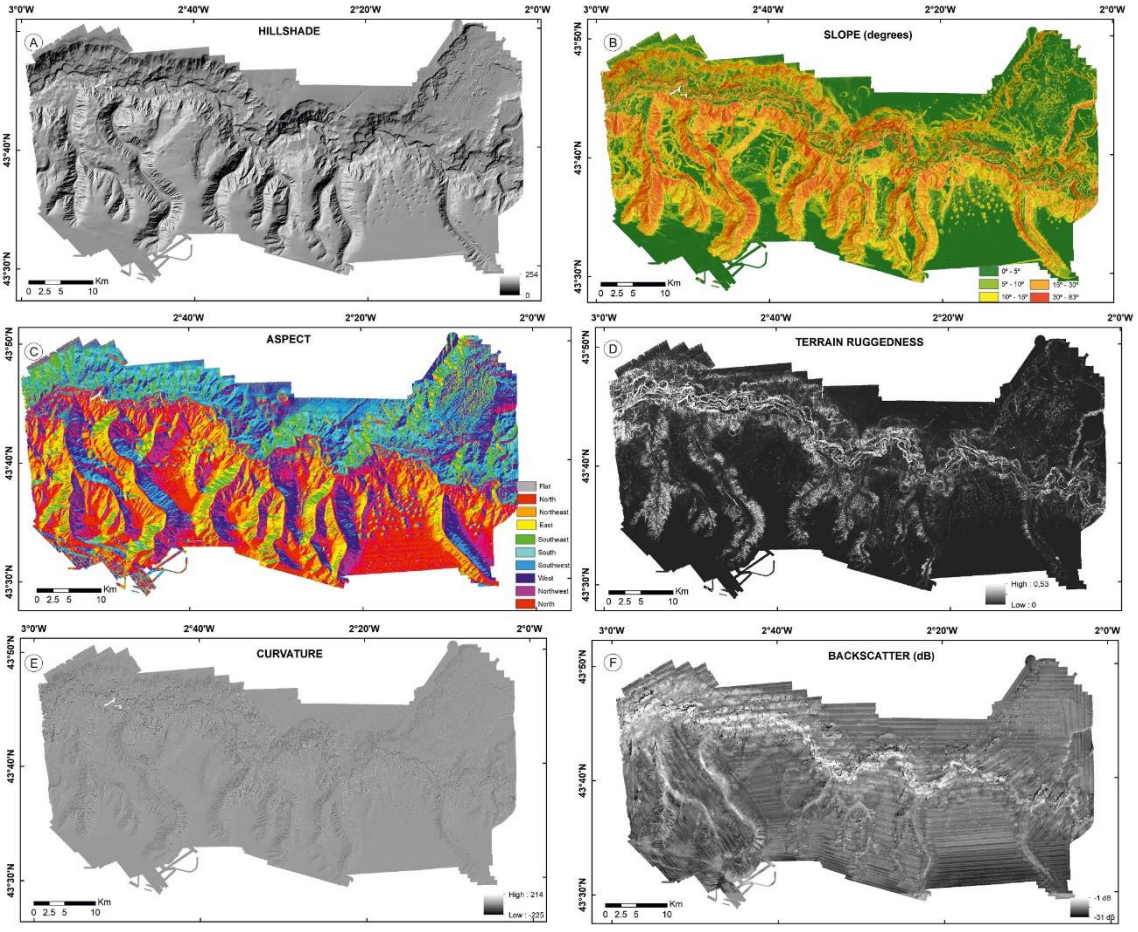
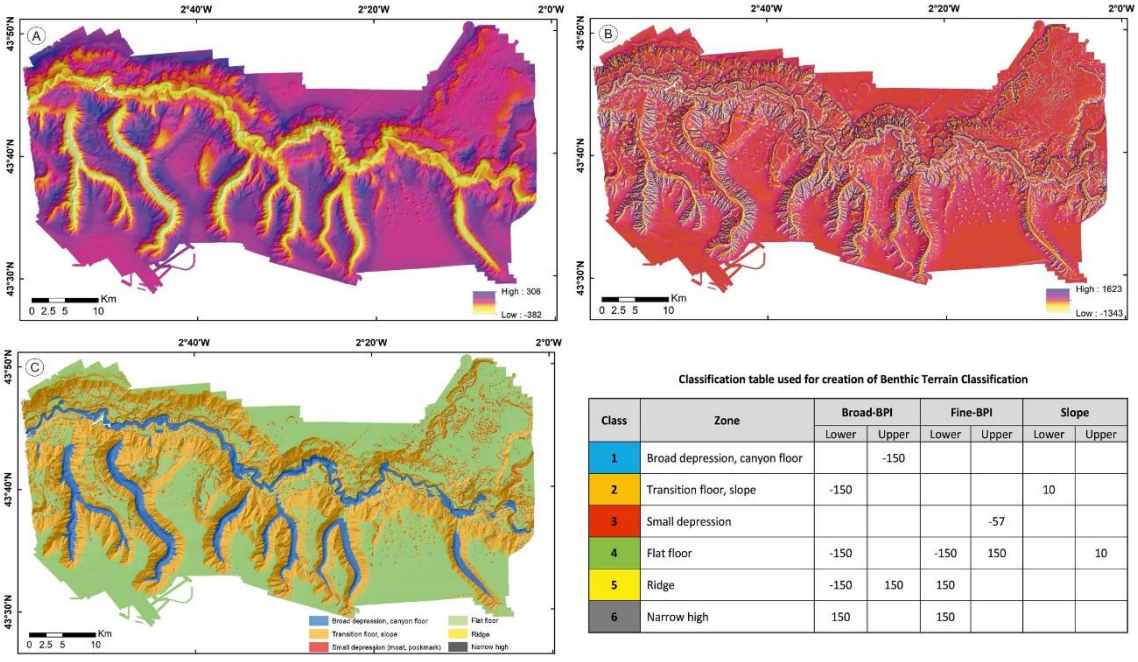


Figure 39. Derived maps from bathymetry data: Hillshade (A), Slope (B), Aspect (C), Terrain ruggedness (D), Curvature (E) and Backscatter (F).

The BPI, on two different scales, has been calculated from the bathymetric data. The broad scale (Figure 40A) is used to identify large-scale morphological features by choosing an internal and external radius of 20 and 300, respectively; while fine scale BPI (Figure 40B), with an internal and external radius of 10 and 15, respectively, is used to identify small-scale morphological types. Combining the information from bathymetry, slope and BPIs maps, a dictionary with the representative morphological classes of the study area has been generated. A total of 6 classes have been

defined: Broad depression canyon floor; transition floor, slope; small depression (moat, incision, pockmark); flat floor; ridge and narrow high (Figure 40C).



Classification table used for creation of Benthic Terrain Classification

Class	Zone	Broad-BPI		Fine-BPI		Slope	
		Lower	Upper	Lower	Upper	Lower	Upper
1	Broad depression, canyon floor		-150				
2	Transition floor, slope	-150				10	
3	Small depression				-57		
4	Flat floor	-150		-150	150		10
5	Ridge	-150	150	150			
6	Narrow high	150		150			

Figure 40. Bathymetric Position Index maps: A) Broad scale and B) Fine scale. C) Morphological-derived classification map and its values in table classification.

From the complete dataset a granulometric analysis was carry out to study the spatial distribution and variability in the grain size of the soft-bottom, and the percentage of gravel, sand, mud and organic matter in the area (Figure 41).

The highest percentages of mud are in the most distal part of the Renkala, Arritxu and El Zapato interfluvial platforms and the main canyon axis (Figure 41). The bottoms of the tributary canyons flanking these platforms also present a high mud percentage, while the content of the sand fraction is very low in these areas. However, it increases in the headwaters of the canyons located on the continental platform, which is characterized by a sand high percentage, especially in the western sector, as opposed to the eastern sector, which has a muddier content. The gravel content is low throughout the area, but an increase of gravel percentage is remarkable on the continental shelf at the eastern edge of the study area. The highest levels of organic matter (> 6 %) are located in the western sector over the structural high and the mouth of the Basamendi tributary canyon (CB8) which branches into the main canyon (Figure 38 and Figure 41). This information has been integrated with the data collected by direct sampling (dredges and video) to generate a map of the

seafloor types (Figure 42) for the entire study area at a resolution of 10 m, classified in 3 main seafloor types: hard, soft and sedimentary bottom.

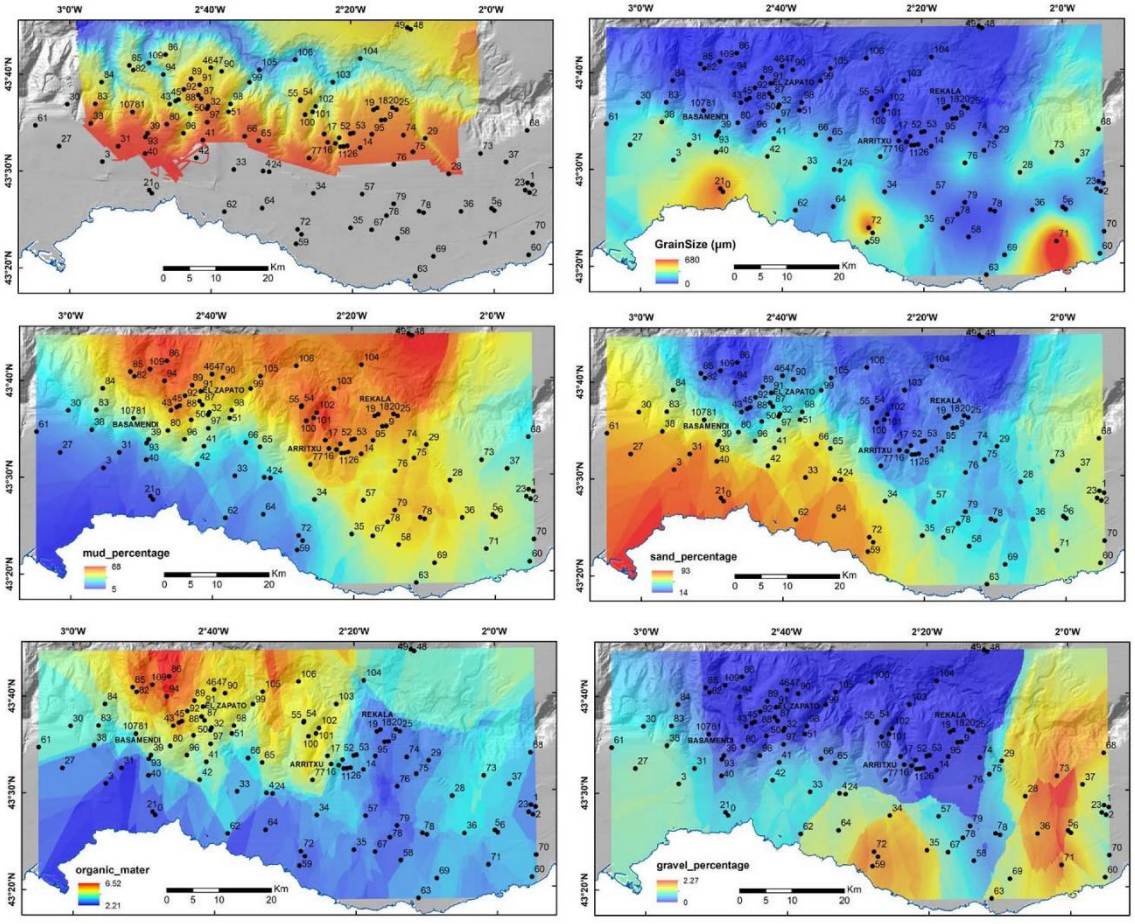


Figure 41. (A) Sampling location. (B) Spatial distribution and variability in the grain size of the soft-bottom. (C) Spatial distribution and variability in the percentage of mud. (D) Spatial distribution and variability in the percentage of sand. (F) Spatial distribution and variability in the percentage of organic matter. (E) Spatial distribution and variability in the percentage of and gravel.

Therefore, analyzing the integrated bathymetry and its derivates, backscatter, parametric profiles, sediment samples and imagery dataset, and taking into account the existing literature in the area, a morphosedimentary characterization for the area has been interpreted and five priority sub-areas were established within the Capbreton Submarine Canyon System: tributary canyons, main canyon, intertributary platforms, pockmarks fields and a mega-slide. The analysis of the high-resolution seismic profiles acquired (Figure 37) and their correlation with the surface structure obtained with high-resolution bathymetry is shown in more detail below.

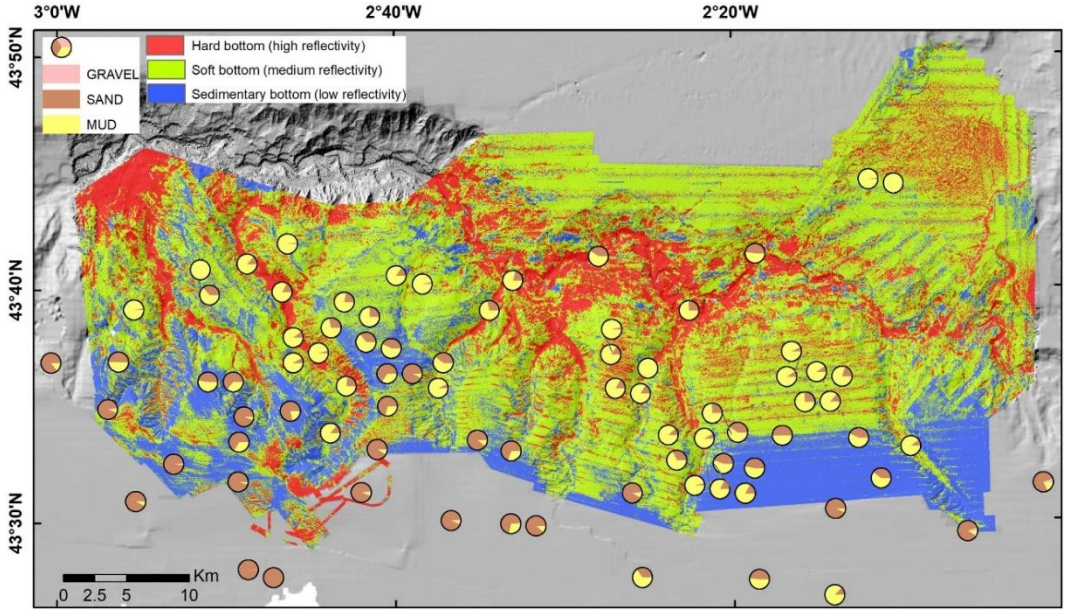


Figure 42. Seabed substrate characterization from the reflectivity mosaic and the percentage of gravel, sand, and mud in the study area.

4.4.1. The physiography of the Capbreton canyon system area

The continental shelf is narrow and very low dipping, almost flat from 0 to 5° extending to the break shelf at 200 m depth. The continental slope has an average slope of 3°, and its width varies from 13.45 km in the east to 25.3 km in the west (Table 8 and Figure 43 and Figure 45).

Table 8. Summary of the parameters characterizing the physiographic provinces of the Capbreton canyon margin system area, obtained from swath bathymetry dataset (see Figure 45 for the location and extension of each physiographic unit).

	Width min-max (km)	Depth range (m)	Average slope (in degrees)
Shelf	7.5 –25.5	0-200	0º-5º
Shelf break	-----	200	----
Upper slope	11.5 (E) -24 (W)	1250 (E) - 2400 (W)	15º
Lower slope		1240 (E) – 2650 (W)	10º
Base of slope	----	1350 (E)-2850(W)	----
Break	----		----

The Capbreton canyon system area is mainly constituted by the south flank of the main canyon and their tributaries system, which, in turn, are transversal to the main canyon and dissect the slope from south to north. This flank constitutes the continental slope in this area, being characterized by an upper slope with gradients ranging from 2° to 40° with maximum values located just in the tributaries canyons flanks, at the western area. The lower slope locates between 1240–2650 m water depth at the foot of the slope tributaries system canyons, closely matching with the axis of the main canyon. The major morphological features on the continental slope (Table 8) are the deeply incised CBCS, the interfluvial platforms and its associated pockmarks field (CBPF) and a mega-slide (CBMS). (Acronyms in Table 7).

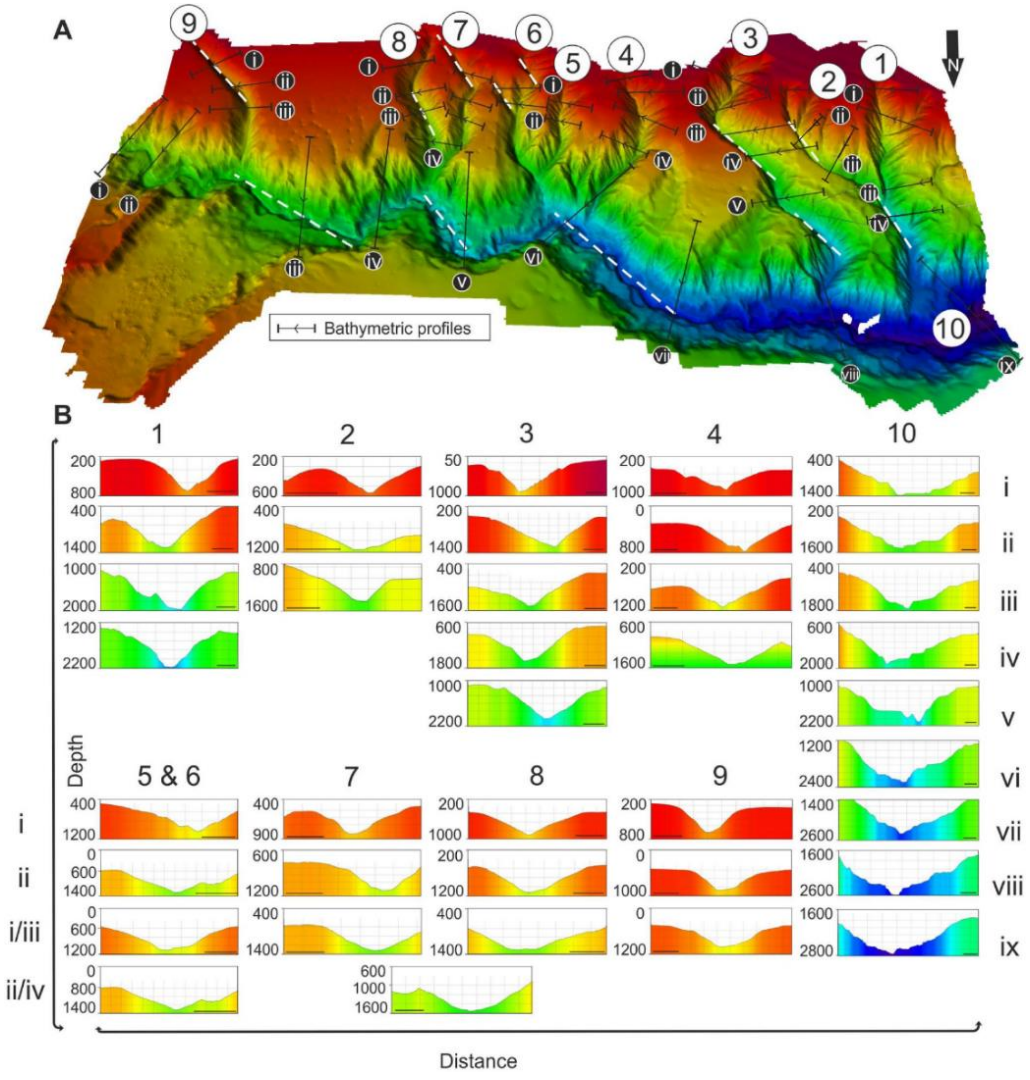


Figure 43. 3D view of the study area and bathymetric profiles location. In number from 1 to 9 the tributary canyons (Table 7) main canyon with number 10. Dashed lines in white correspond to tectonic direction 110-130° (A). Bathymetric profiles (B).

The main morphological features have been identified from the integration of all data collected in the morphosedimentary interpretation map for the study area (Figure 45) allowing to classify the facies (Figure 44) in the different domains. The features are described in more detail below for each physiographic unit.

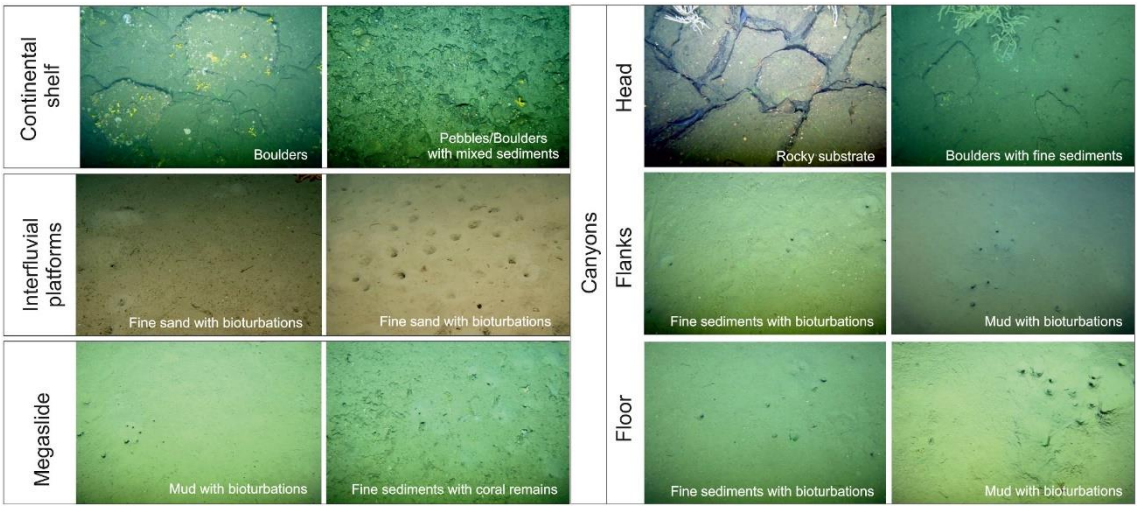


Figure 44. Photograph of the facies identified in the principal domains of the Capbreton Canyon System, acquired with ROTV Politolana and lander Geodia during Intemares_Capbreton 0619 and 0620 surveys.

4.4.2. Morphology of the Capbreton continental shelf

The continental shelf is generally narrow, covering an area of 115 km^2. The outer continental shelf width varies from 7 km in the Machichaco Cape to 20 km, in Zarauz, with maximum depths of about 200 m. In general, the slope is low, almost flat seafloor up to 1° and without structural highs but one isolated marginal platform. A remarkable feature on the outer continental shelf is the presence of tectonic morphologies and some hard bottom areas.

The shelf break is located at a general depth of about 200 m, with a maximum depth of ~220 m and shows a general E-W trend parallel to the principal axis of the Capbreton Canyon. In this area, the seafloor morphology displays rocky outcrops of different reliefs and morphologies, but 70% of the shelf surface corresponds to areas of low slope, less than 3°, practically horizontal and slightly dipping towards the north, aligned with the tectonic structures of the area described in more detail later. These areas present a scarce cover of fine sediments (Figure 42 and Figure 46D) which are not consolidated or correspond to highly eroded base areas, and 3 different types of rocky outcrops have been identified (Figure 46).

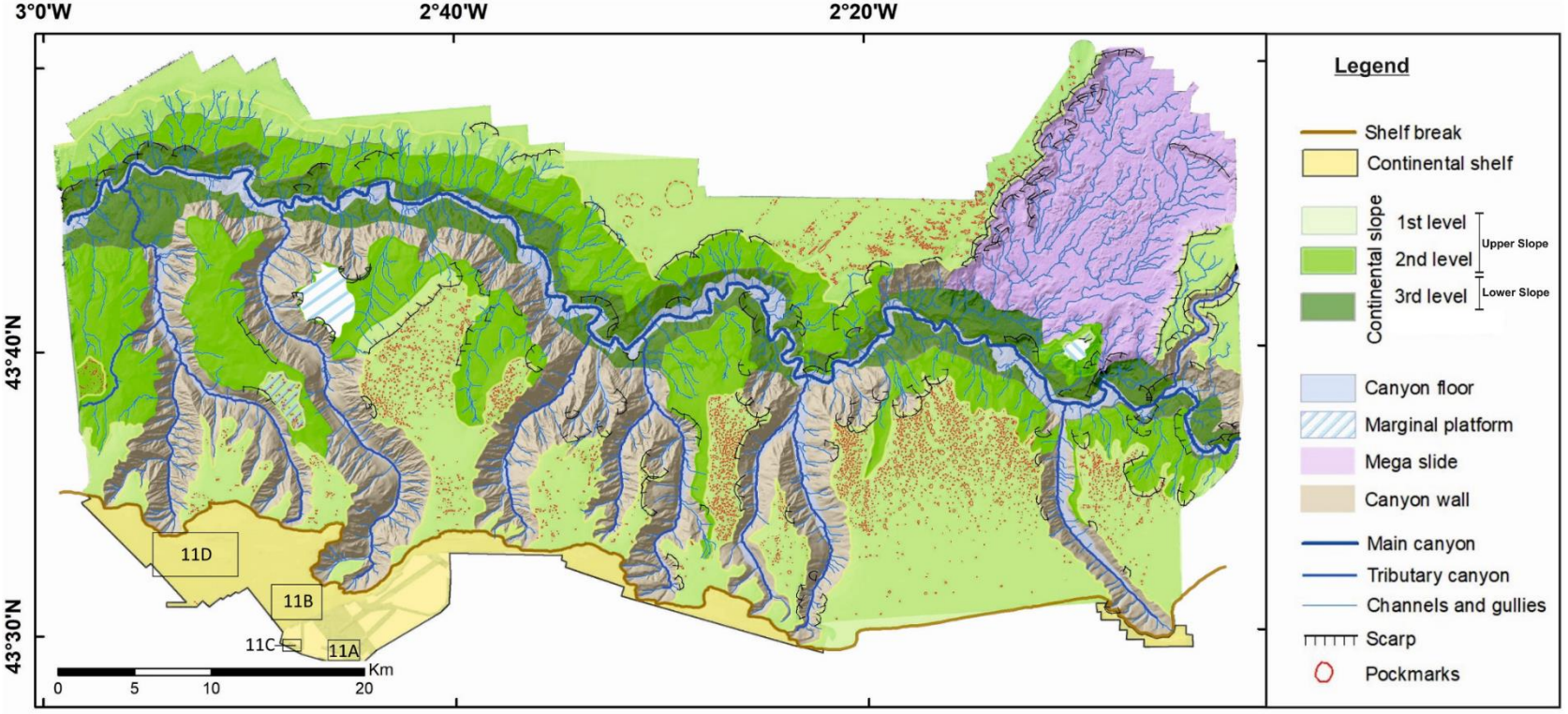


Figure 45. Geomorphological interpretation map of the Capbreton Canyon System.

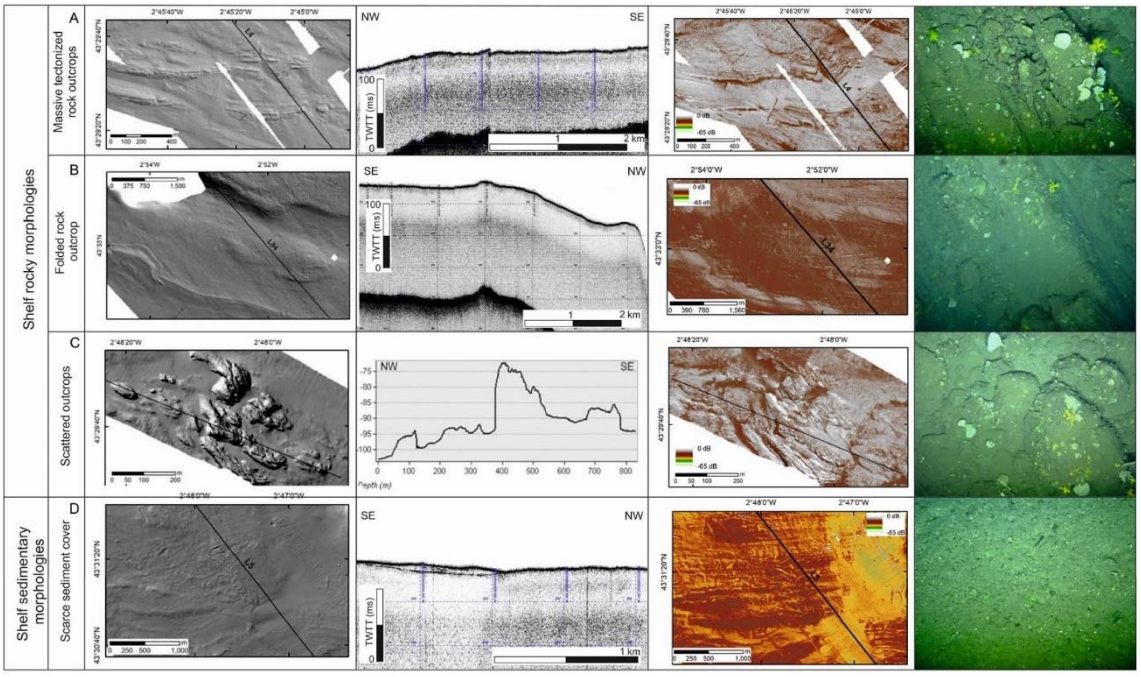


Figure 46. Sedimentary and rocky morphologies in the continental shelf.

MASSIVE TECTONIZED ROCK OUTCROPS

This type of outcrop has been identified in the western sector of the continental shelf, forming different groups of massive and strongly fractured outcrops. The rocks present a convex and smooth bend in plain view and have reliefs of about 8 m concerning the adjacent seafloor (Figure 46A).

FOLDED ROCK OUTCROPS

Associated with massive tectonized rock outcrops, there is another type of outcrops located in the central part of the continental shelf in the study area. These are characterized by linear folded outcrops with continuous sub-vertical strata. They constitute reliefs of up to15 m on the seabed (Figure 46B).

SCATTERED OUTCROPS

Located in the eastern sector of the study area, this type of outcrop has been mapped with a relief of 20 m and isolated on the surface, but possibly corresponding to the highest summits or basement highs (Figure 46C).

4.4.3. Morphology of the upper and lower continental slope

The continental slope has been divided in upper and lower regions, covering a total area of ~2300 km^2 (Figure 45). The upper continental slope occupies the seafloor from the continental shelf break to approximately the 2000 m isobath, with an area of 1950 km^2. The continental slope is cut from S to N by a series of tributary canyons that cross the margin from the shelf to the edge of the Capbreton Canyon. The tributary canyons heads are located at the upper proximal slope, alternating with intertributary platforms where the upper slope reaches its greatest extension. Therefore, the upper proximal slope width is variable from 2000 m in the narrowest area due to the presence of canyon heads (Figure 38 and Figure 45), located at 450 m depth, to 20,000 m width in the area of the largest marginal platform "El Zapato" (Figure 38). It is characterized by an abrupt relief and variable slopes in the areas of head canyons, to a sub-horizontal relief in the intertributary platforms. Therefore, the slope varies from sub-horizontal in intertributary platforms to more than 40° in tributary canyons areas (Figure 39B and Figure 42). The intertributary platforms are mainly characterized by sedimentary thicknesses in which extensive pockmark fields are almost widespread developed (Figure 45).

The upper distal slope is characterized by higher gradient. It is densely crisscrossed by tributary canyons and gullies (Figure 45), forming the south Capbreton Canyon's flank, and also limited at the foot of slope by the canyon incision. Along the upper distal slope, we differentiate some sedimentary areas, most of them towards the west, corresponding to different terrace levels.

The lower continental slope in the surveyed region occupies an area of ~350 km^2 with depths range from ~2000 m, in the lower part of the upper distal slope, where the main canyon incises, to about 1600 m on the north flank of the main canyon, where it connects with the Biscay Abyssal Plain (Figure 45).

MORPHOLOGY OF THE CAPBRETON MEGA-SLIDE (CBMS)

One of the most remarkable structural features in the area is a mega-slide located at the easternmost part, close to the main canyon head (Figure 45). The uppermost part of the mega-slide (Gonthier et al., 2006; Gaudin, 2006; Biscara et al., 2007) lacks of full swath-bathymetry. Consequently, the description of its detailed morphology at the slide inception was done combining our data together with Digital Terrain Model data products derived from the EMODnet Bathymetry portal (http://www.emodnet-bathymetry.eu).

The CBMS shows very thin sedimentary cover that reveals a high reflectivity value due to the basement. The mega-slide is 25 km long and 13 km wide. Its head cuts the continental shelf, the depth of the onset is about 208 m, and its mouth in the main canyon is site at 1500m depth (Figure 38 and Figure 45).

The bathymetry resolution obtained on the flanks allows identifying notable differences between both (Figure 38). The northwest wall is a rectilinear crest with a NE-SW orientation and a length of 23 km. Its edge is characterized by escarpment heads, with horseshoe shapes and has a very steep profile where different terraced levels are observed, with an average gradient of 15° and the top situated at about 60 m. As in the intertributary platforms, from a depth of 400 m onwards, clusters of small pockmarks can be observed, although in this case having smaller size and showing a more disperse distribution. Unlike the northwest wall, the southeast wall of the mega-slide is gullied. Its upper sector looks like an amphitheater-shaped scar, a large erosional scar of arched morphology near the head, which progressively gives way to a 600 m high flank furrowed by short gullies of 400 m averaged length.

Small outcrops or isolates blocks with dimensions of around 12 m and 83 m high, between 625 m and 1250 m deep, have been identified at the base of the mega-slide.

Another relevant morphological element is a high of about 3000 m long and 2800 m wide. This constitutes a structural high located on the SE of the mega-slide in the distal area. This marginal platform is elongated on the NE-SW direction and has a flat top with an area of 1.5 km^2 and height of 350 m.

Additional features as hard outcrops of low relief and NE-SW orientation also appear within this area (Figure 45).

CAPBRETON CANYON SYSTEM (CBCS)

This submarine canyon crosses the entire continental slope from the continental shelf to the rise and presents a winding E-W oriented course, according to the tilting of the area. The canyon talweg is about of 300 km long from its head at 200 m water depth, to 3800 m where it reaches the abyssal plain (Figure 43 and Figure 45) covering an extension of 1500 km^2.

The Capbreton main canyon is complex and structurally controlled, with a tributary canyons system that drains into it. The bathymetric transverse profiles (Figure 43) show differences in depth corresponding to the incisions of the tributary canyons of the main canyon and the interfluvial platforms, configuring what we have named the

CBCS. Based on changes in canyon axial gradients, orientation flanks from slope and aspect maps (Figure 39), as well as canyon floor width and canyon system main flow (Figure 47A), the canyons have been classified into three different hierarchical orders: main canyon, tributary canyons, and erosive channels and gullies (Figure 47B). The flow direction analysis for the whole drainage basin and the flow accumulation analysis indicate that the orientation remains in the same direction as depth increases, and demonstrates the active down-slope flushing from the tributary canyons to the main canyon.

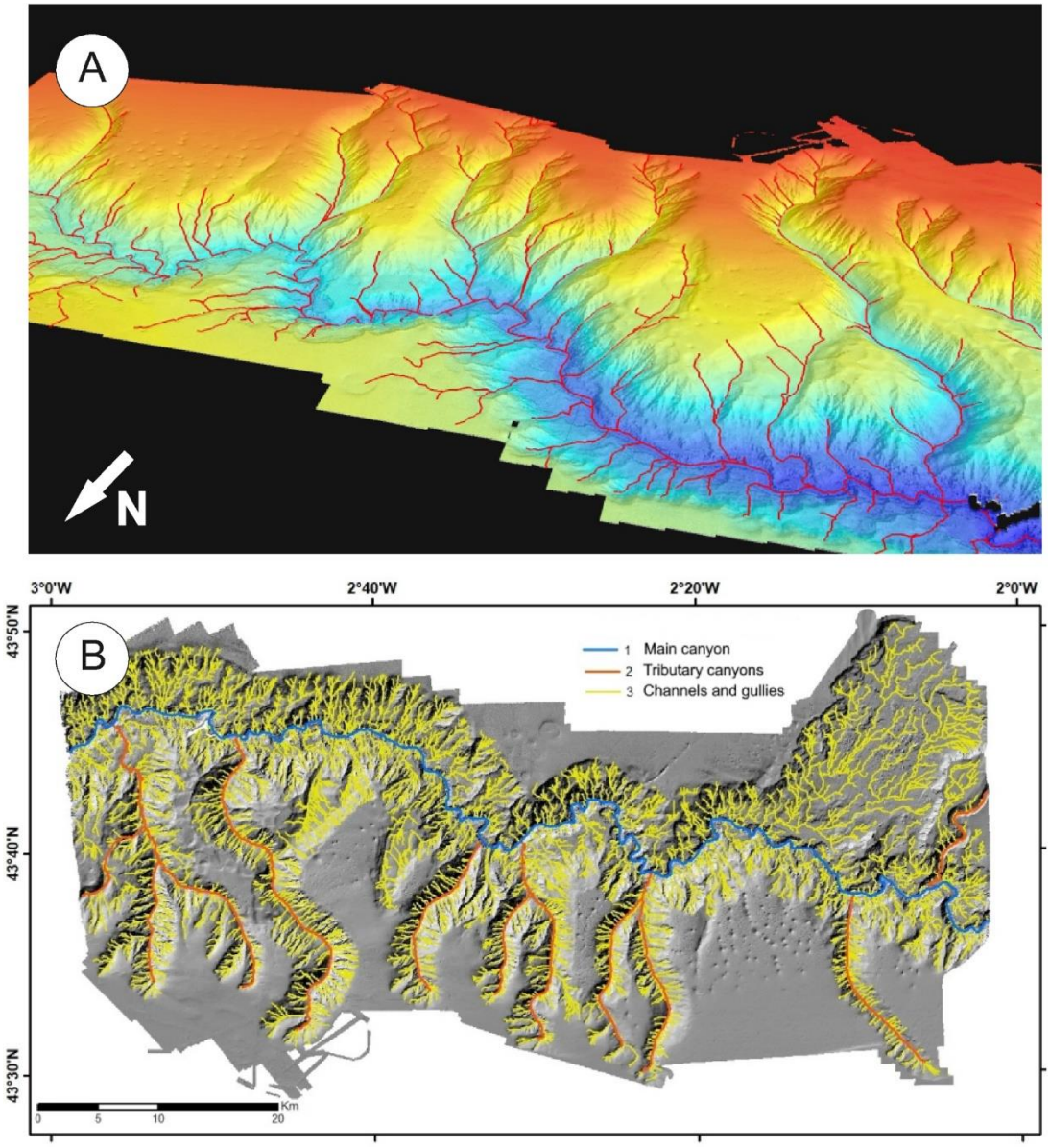


Figure 47. 3D view of the canyon system with the main flow (A). Hierarchical classification for the CBCS in three orders: main canyon, tributary canyons, and channels and gullies (B).

The proximal upper slope is furrowed by a serie of tributary canyons that are wedged between intertributary platforms forming the CBCS. A total of nine tributary canyons have been identified according to their dimensions (Figure 43). These canyons have a well-defined heads, incised at the edge of the platform close to 200 m water depth (Figure 43, Figure 45 and Figure 47), and run from their headwaters to the foot of the distal upper slope, where they flow into the main canyon, whose axis is embedded in the lower slope at a depth of 2000 m. Their lengths vary from 9.5 km, in the shorter canyons of the central and eastern sector, to 30.5 km in the canyons of the western sector. The steepest slopes recorded (50°) in the study area are located on the flanks of these tributary canyons, mainly NW–SE oriented (N 110°–130°), excepting the central sector, where the CB-5, CB-4 and CB-3 canyons present a more marked N–S trend. In cross-sections (Figure 43), the V-shaped profiles of the canyons can be observed in their heads. Nevertheless, while the canyon course is running the cross-section morphology evolves to U-shaped until it reaches its mouth at foot of the slope. This pattern decreases towards the east, where the canyons have a more extended transverse morphology and a shorter course, flowing into the main canyon at 1500 m depth. On the contrary, the canyons in the western sector are longer (maximum canyon length CB-7, 30.5 km), and discharge at 2625 m depth.

The flanks of the tributary canyons are densely furrowed by channels and gullies, as occur in the distal upper slope. These channels and gullies net correspond to the third order in the hierarchical CBCS classification (Figure 47).

The main canyon is embedded in the lower slope following a meandering course and its axis faces this lower slope, changing its transverse morphology from E to W and from V to U-shape bottom, as it approaches to the intersection with the Santander canyon. It has a length of 385 km and an average width of 5 km. The southern flank of the canyon is characterized by a stepper slope than the northern flank. It is also crisscrossed by a dense network of channels and gullies in the same hierarchical order as those on the walls of the tributary canyons. However, this flank, with an average slope of 15°, is less vertical than the flanks of the better developed tributary canyons and with an average slope of 25°.

INTERFLUVIAL PLATFORMS

From west to east, a total of seven platforms have been identified in the study area: Martxatxu, Sigarre, El Zapato, Santa Moro, Lumai, Kostarrenkala and Plaiasu (Figure 38 and Table 8). Their dimensions are variable from the narrowest, Sigarre

platform, 2200 m width, to a maximum of 14,000 m in Kostarrenkala platform. All of them locate in the bathymetric range between 1400 m and 200 m. The walls of these platforms correspond to the flanks of tributary canyons that are furrowed by channels and gullies networks. In the gradient map of the area (Figure 39B and Figure 48) the northward inclination can be observed. Despite being flat with an average slope of 3°, they present an increasing northern orientation, that is, towards the abyssal platform, following the normal structure of the continental margins.

As mentioned in the previous section, the interfluvial platforms are in turn subdivided into three main terrace levels (Figure 48). The first terrace level in the interfluvial platforms of the south flank, represented in the geomorphological interpretation map (Figure 45), is the largest and shallowest, located between the depth range of 1200 to 200 m, and with a total extension along the study area of 700 km^2. The second terrace level corresponds to a smaller area of c. a. 350 km^2, and is located in the depth range between 1800 and 600 m. The third terrace level only appears in some very specific locations and mainly in the eastern sector on Lumai and Kostarrenkala-Renkala platforms. At the same time, there is an increase in depth in favor of the main canyon course from E to W.

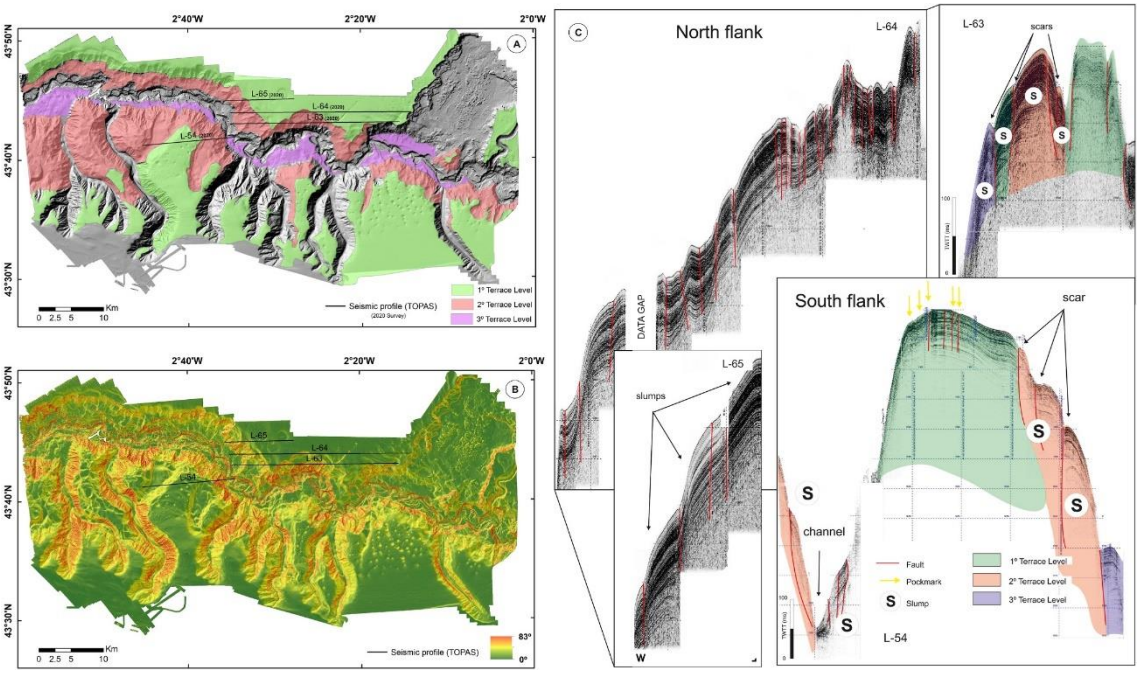


Figure 48. Correlation between north flank and south flank terraces of the main canyon. A) Three terrace levels at DTM (10 m resolution). B) Slope map in degrees of the study area. C) High resolution seismic profiles (TOPAS) showing different terraces levels, slumps, faults and pockmarks incisions. See location of profiles in A) and B) panels.

Sedimentological data, represented in Figure 42, show that the sediment distribution at the first level terraces has a remarkable change above 400 m depth, where the sediments characteristics change in the organic matter and mud contents. The analysis of the reflectivity values (Figure 49) shows that this change coincides with a variation in the acoustic properties of the sediment as reflected in the backscatter mosaic. There it can be seen that below 300–400 m depth, in the shallower areas of the proximal upper slope, seabed changes from sedimentary to soft bottom (Figure 42 and Figure 49).

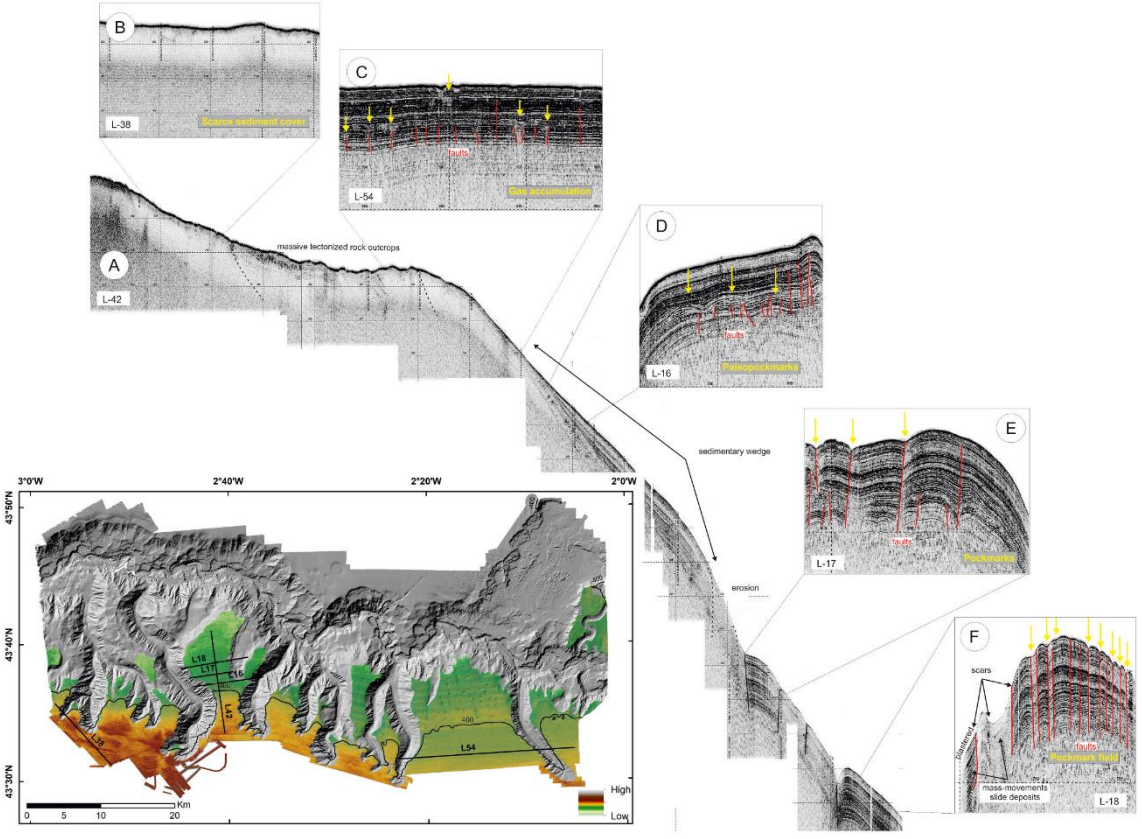


Figure 49. High resolution seismic profiles (TOPAS) showing different pockmark stages at different ranges of depth in the intertributary platforms. DEM in grey colour scale with backscatter mosaic in colors and seismic profiles location. Profiles L38 and L54 do not cross the L142 but their equivalent scare sediment cover outcrops and positions have been projected in L42 to show an example. (For interpretation of the references to colour in this figure legend, the reader is referred to the Web version of this article.)

High-resolution seismic profiles show the sedimentary nature of the materials that cover the seafloor in this area (Figure 49). A S to N evolution in the sedimentary stacking of the margin, i.e., from the shelf break to the foot of the lower slope (FOS), has been observed (Figure 49A). The platforms display a seismic profile starting

from a sedimentary basin with scarce sedimentary cover in the almost flat (0–3°) areas between the platform break and the proximal upper slope, but with a certain dip to the north. In this area, the reflectivity values are high due to the low thickness of sediments overlying the basement, and the internal structure of the echo-facies is chaotic, semi-transparent and without identification of internal reflectors. However, close to 400 m depth, this configuration changes, related to an increase in the slope (3–6°) and in the sediment thickness due to the sedimentary wedge progradation. This sedimentary accumulation is also evident in the reflectivity values, which reveal lower values corresponding to soft substrates. The internal structure of the plastered echo-facies observed in the seismic profiles corresponds to well-structured facies with well-defined and continuous reflectors (Hernández-Molina et al., 2011). From the 400 m slope onwards, the slope stabilizes again, becoming an almost horizontal platform, with a certain dip towards the north and a very noticeable increase in sediment thickness.

In the distal sector of the first level terraces, the most striking aspect is the abundance of pockmarks as circular or elliptical depressions. They describe different sizes, with diameters ranging from tens to hundreds of meters (70–2920 m, mean 289 m) and variable depths, from a few meters to 80 m (Figure 45), displayed in a depth range between 400 and 1000 m, with more density in 700 m depth. Pockmarks are usually generated by upward gas-rich fluids emission within the sedimentary deposits to the sub-surface (Dupré et al., 2014; Michel at al., 2017; Galparsoro et al., 2020). These seafloor features have been identified in all the interfluvial platforms of the study area, appearing isolated or forming extensive fields of pockmarks (Figure 45). The presence of pockmark fields in the distal areas of the platforms is concomitant with an increase in the sedimentary thickness, as can be shown in high-resolution seismic profiles (Figure 49). Thus, in the areas closer to the coast, where the sedimentary thickness is very low, there is absence of pockmarks. Towards the north, there is an increase in the sedimentary thickness which favors the occurrence of pockmarks. As a result, at the distal area of the platforms, a high number of pockmarks develop, also with larger dimensions, both in depth and in diameter. High-resolution seismic profiles have also evidenced the occurrence of paleo-pockmarks, identified in the underlying substrate and located in the intermediate area of the platforms (Figure 49 and Figure 50).

There is a remarkable structural high in the study area (Figure 45) just west of El Zapato. It is an isolated marginal platform on the upper continental slope. It has an approximate area of 6 km^2 and is semicircular-shaped (4 km wide). Its surface and boundaries are irregular, with the top at ~900 m depth.

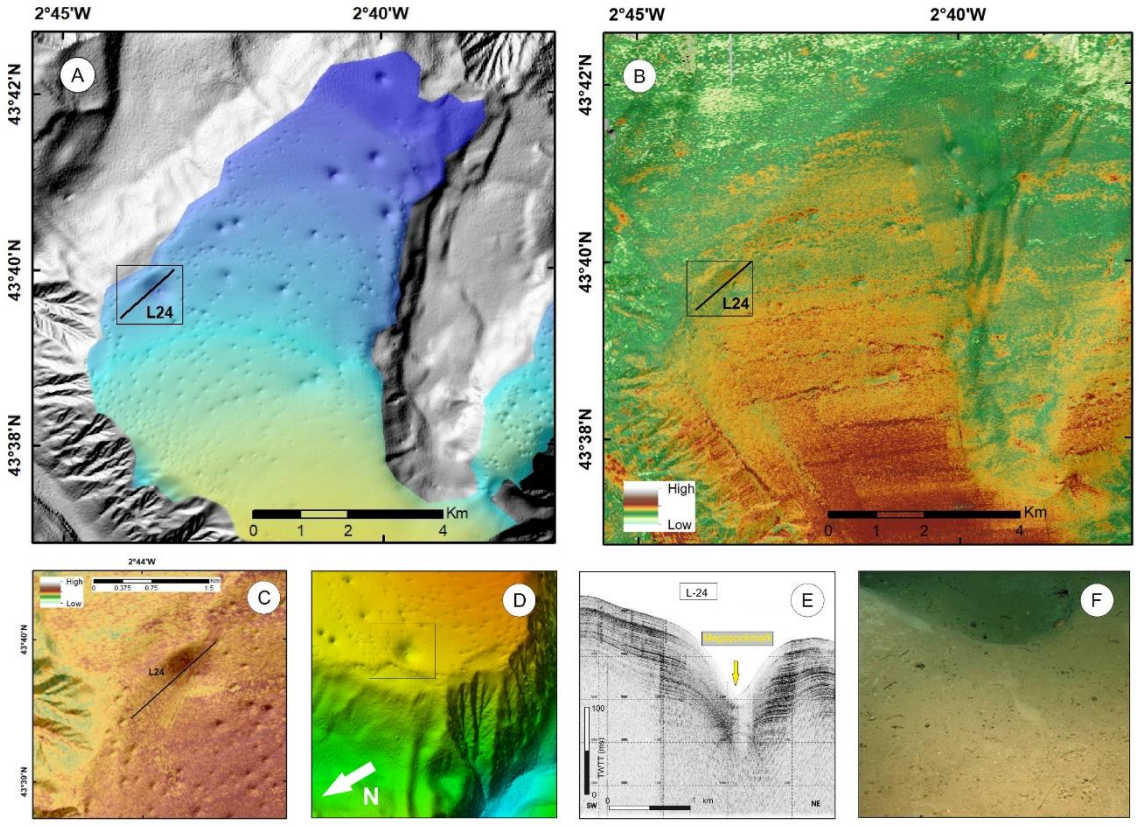


Figure 50. El Zapato intertributary platform with pockmarks field in DEM (A). Backscatter mosaic (B) and pockmark detail in backscatter over DEM (C) 3D view (D) L- 24 high resolution seismic profile (E) and photography inside the pockmark took with lander Geodia.

4.5. Discussion

The geological processes in the study area and the evolution of the Cantabrian continental margin gave rise to the current configuration of the seabed in the Bay of Biscay. The new data collected and analyzed in the present study has allowed us to advance in the knowledge of the geomorphology and shallow structure of the seabed, as well as the sedimentary processes occurring in the northeastern Cantabrian margin. The block diagram (Figure 51) shows a geomorphological model of the upper and lower slope, the tributary canyons and their confluence to the main canyon and the morphobathymetric hierarchy of the Capbreton Canyon System (CBCS), as important area for the transport of particles from the continental shelf to the abyssal plain (van Weering et al., 2002; Palanques et al., 2005; McClain & Barry, 2010), which directly influences the morphosedimentary dynamics of the canyon.

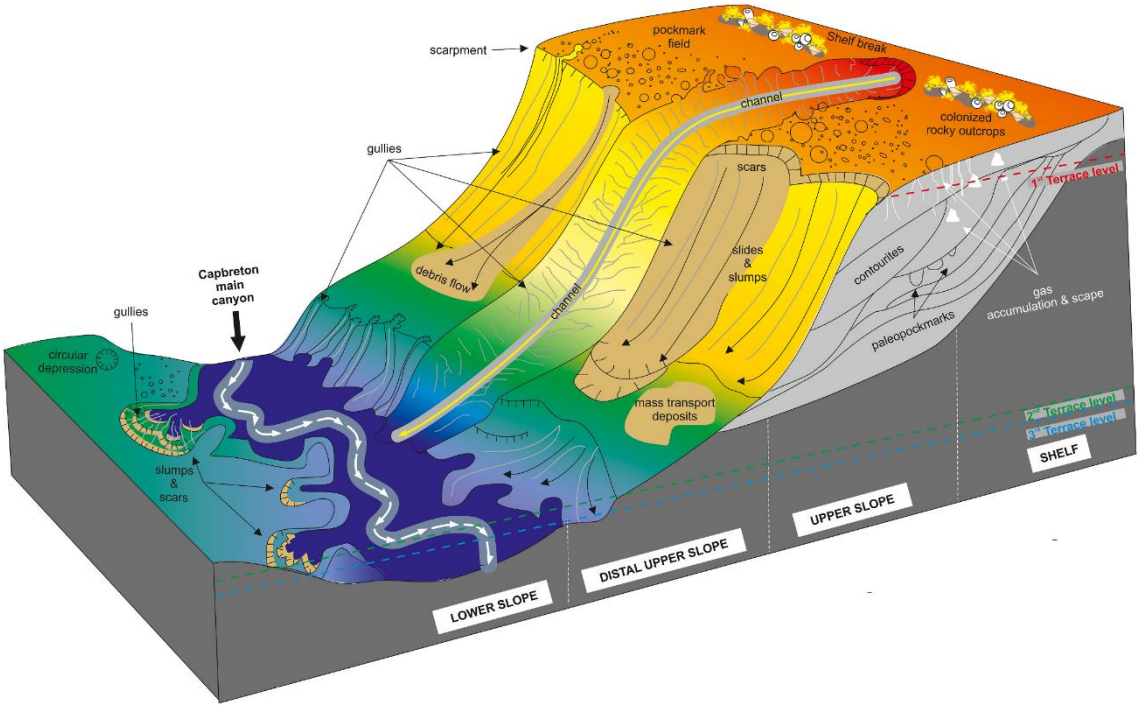


Figure 51. 3-D diagram model showing the main morphosedimentary and morphotectonic features and related processes in the CBCS.

4.5.1. Continental shelf

The continental shelf presents differences to other areas of the Cantabrian platform such as the Asturian platform, showing an absence of structural highs, except for one isolated marginal platform westwards from El Zapato platform. In the study area, the continental shelf is highly tectonized related to the inherited Hercynian structures and those generated during N–S Cenozoic compression. Evidence of this strong tectonic activity and structural control is its very irregular continental shelf edge, with incoming and outgoing directions oblique to the coastline.

Only a narrow strip of the continental shelf has been studied in this work, where folded rock outcrops have been identified and, according to the regional tectonic trends, it may correspond to a sinform/antiform observed in other Cantabrian shelf area (Gómez-Ballesteros et al., 2014), parallel to the main Capbreton Canyon axis NW–SE orientation.

It should be noted that in the sedimentary areas which have been mapped, no sedimentary structures generated by dynamic processes have been observed (Figure 42 and Figure 45). However, some sedimentary characteristics have been identified in

certain areas of the continental shelf (Galparsoro et al., 2010). The scarce sediment cover observed can be interpreted as the result of the action of strong currents on the shelf that cause a little sedimentary cover of the study area, giving place to a starving shelf (Ercilla et al., 2008). The lack of sediments appears to be influenced in the Cantabrian margin by the intense shelf dynamic regime characterized by the seasonal development of opposing shelf currents in the upwelling/downwelling (Lavín et al., 2006) and by a fairly strong semidiurnal tide with barotropic M2 major semi axis of ~5–10 cm/s around the central Cantabrian Sea shelf in the proximity of Peñas Cape (Fanjul et al. 1997). However, the greatest sand content accumulates on the continental shelf in the western sector of the study area, and has its origin in the contributions of terrigenous materials from the mouths of the Butroe, Oka, Lea and Artibai rivers. In contrast, the continental shelf in the eastern most sector has a greater accumulation of muddy fraction and the hydrological network in this area is smaller, limited only to the mouths of the Urolay and Oria rivers. At the eastern limit of the study area, although data are scarce, we interpret the occasional increase in gravel content as a relation to abundant terrigenous material contributions of the Urumea river. Thus, in this part, oceanic dynamics transport longitudinally the coarser materials reaching the foot of the slope located in the first section of the main canyon (Figure 42).

The rocky outcrops show folded and fractured morphologies, clear evidences of the strong tectonic activity in this area and also identified in other areas of the Cantabrian margin as Avilés Canyon area (Gómez-Ballesteros et al., 2014). Thus, the erosion surface observed reflects the intense erosive processes produced during the sea level migrations across the shelf and subaerial erosive processes during shelf exposure. Erosion seems to be the dominant sedimentary process on the Cantabrian continental margin, that would explain the lack of recent sedimentation, at least on the outer shelf (Ercilla et al., 2008). The presence of tectonic morphologies and some localized hard bottom areas are consistent with a tectonic origin.

The main feature that characterizes the lower continental slope is the Capbreton Canyon axial incision and its stepped north flank. A megaslide appears in the northeastern area of the lower slope (Biscara et al., 2007), represented by a sub-horizontal abrasion platform characterized by a scarce sedimentary cover and rocky outcrops. This mega-slide has been mentioned previously by Gaudin (2006) and by Biscara et al. (2007), but it is described with more detail in the present study. However, the study area does not include the headwaters, so the lack of high-resolution data of the complete structure and slide scar has not allowed making much progress in the hypothesis of its origin and evolution. In spite of this, from the morphology observed in

EMODNET bathymetry it could be interpreted that the upper part of the mega-slide mapped in this work corresponds to superimposed sedimentary lobes originated by massive landslides at its head (Biscara et al., 2007). The base of the mega-slide is furrowed by gullies and channels leading to the main canyon. The erosion on this platform is intense and therefore prevents the accumulation of sedimentary deposits, resulting in an abrasion platform. The superposition of sedimentary lobes from the sediment flows through the gullies network on the eastern flank and the processes of instability and mass movements at the headwaters lead some authors to believe that it is a polyphase slide (Biscara et al., 2007). This would have been controlled by listric faults responsible for the stepped morphology of its flanks, giving rise to a translational retrogressive landslide. The north wall is a NE–SW rectilinear crest orientation characterized by escarpment heads, with horseshoe shape of erosive origin, and has a very steep profile where different terraced levels are observed.

4.5.2. Capbreton canyon system (CBCS)

The Capbreton Canyon is one of the deepest canyons in the world. This canyon incises the abyssal plain very deeply up to the present coastline and formed in the Basque-Cantabrian margin, an area with a special geological context where tectonic processes have a N 110°–130° trend (Boillot et al., 1971, 1979; Roca et al., 2011; Carola et al., 2013).

The main canyon presents U-shaped cross-section morphology (Cirac et al.,2001; Gaudin et al., 2006; Mazières et al., 2014) and abrupt changes in axis direction, from NW–SE to NE–SW. This suggests a tectonic control of the canyon (Lallemand & Sibuet, 1986; Mulder et al., 2004; Lastras et al., 2009), as has already been observed in other canyon systems of the Cantabrian margin, such as the Avilés canyon system (Gómez-Ballesteros et al., 2014). The present configuration of the southern flank of the Capbreton Canyon is consequence of gravitational processes and mass-transport movements of the sedimentary flows and deposits of the interfluvial platforms (Figure 49), which have triggered slides and slumps. However, the absence of slide deposits at the foot of the slope could be due to the remobilization, erosion and transport of the slipped material. By contrary, the northern flank has a softer and stepped relief (Figure 43), where several terraces can be observed, resulted from the southwards evolution of the Capbreton Canyon talweg. Those terraces were originated by the abandoned meanders of the main canyon during the different stages of erosion and transport.

The canyon is fed on the south margin by several tributary canyons (Figure 45). Those tributary canyons in the western sector have more pronounced V-shaped cross-sections (Figure 43) and reach greater lengths and depths at their mouths in the main canyon than the eastern tributary canyons (Figure 45). This is partly due to the general trend of the area, with an increasing slope to the west and the tilting of the continental shelf to the north. But it is also observed that those canyons of greater lengths and depths present a rectilinear orientation in their axis with NW–SE orientation, which corresponds to the main directions of tectonism in the area (Figure 45). This evidence points to the fact that the CBCS is strongly structurally controlled (Lallemand & Sibuet, 1986; Mulder et al., 2004) as occurs in others submarine canyons, such as Nazaret Canyon (Lastras et al., 2009). These fracture lineations reach as far as the continental shelf as the headwaters of the San Mateo tributary canyon and are also pronounced in some sections of the main canyon course. The evolution of the tributary canyons, with rectilinear pathway oriented N–S and NW–SE, seems to be tectonic in origin. Incising in favor of the fracture zones, through the planes of weakness, this complex network of tributary canyons has developed. The conduit of sediments from source (coastal ranges) to sink (abyssal plain) in the northeastern Cantabrian margin is favored by the first- (main canyon) and second-order canyons (tributary canyons), and the dense gully network between them that canalize the flow of matter and energy and balance deeper down-canyon flows (Figure 47). The main sediments come from the French margin through the main canyon and from the discharge of the rivers at the Basque coast as well as possible along-shelf sedimentary transport.

Another important aspect of the CBCS is the presence of three different terrace levels observed that reveals the tilted geometry to the north of the CBCS. It is conditioned by landslide processes and by the regional tectonics of the area (Tranier, 2002; Mulder et al., 2004). Differences have been observed in the evolution of the different terrace levels between the south and north areas of the main canyon, which coincides with the meandering course of the canyon. On the northern flank of the main canyon, the erosion was stronger, allowing the terraces on the southern flank to evolve. This is clearly evidenced in the central-southern sector, where the course of the canyon is embanked to the north (Figure 48). However, where the course of the canyon has moved closer to the south, wedging into the southern flank, the terraces on the northern flank have been able to develop, as seen at El Zapato and Sigarre platforms. The third-order terraces show low sedimentary deposits. Possibly, the increased flow accumulation has removed, eroded, and transported the deposits from the upper terrace levels being redistributed by the canyon flow and marine currents.

The southern flank of the canyon is a smoother flank whose present configuration is due to gravitational processes and mass movements of the sedimentary deposits of the interfluvial platforms (Figure 52), which have triggered slides and slumps. The corresponding deposits associated with these slides are not observed at the foot of slope, as they coincide with the axis of the main canyon and probably have been remobilized, eroded, and transported.

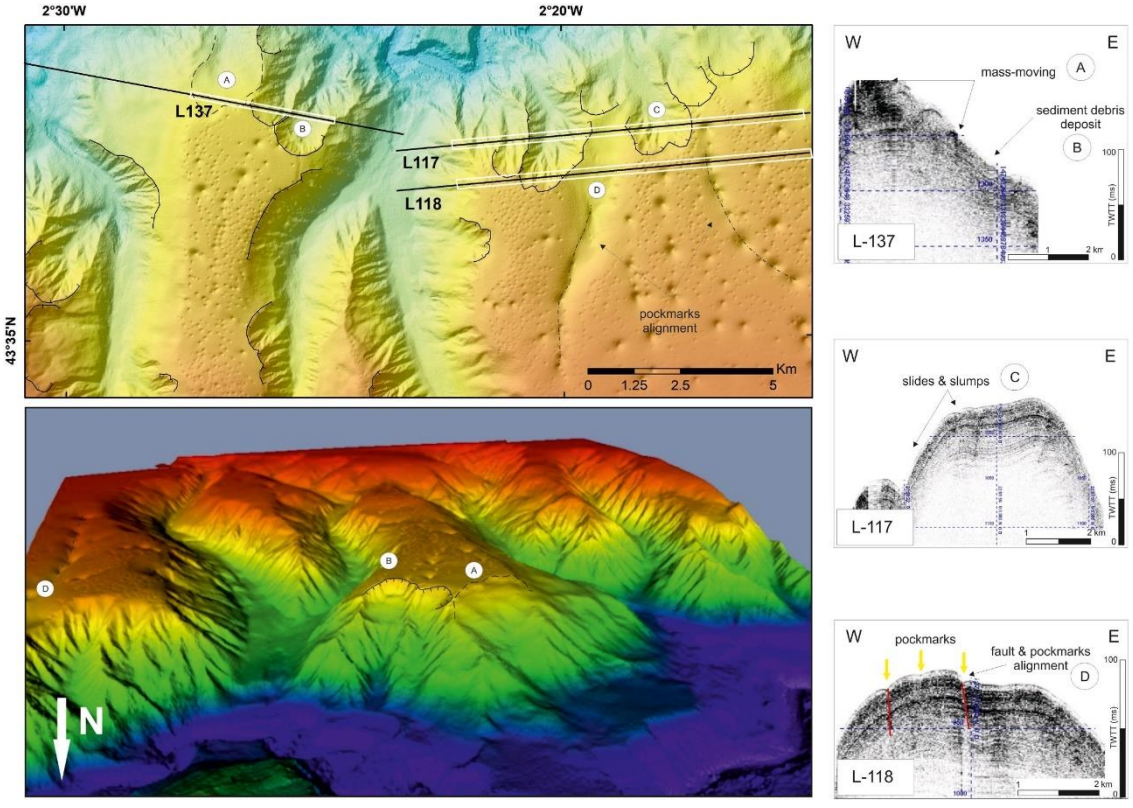


Figure 52. Mass movements evolution in the study area. Examples for slide, slump and debris flows in the DEM (5 m resolution) and high resolution seismic profiles.

The different terrace levels on the northern flank have been correlated with the terraces mapped on the proximal upper slope (Figure 45 and Figure 48). The evolution of the tributary canyons of the southern margin of the CBCS is conditioned by erosive and tectonic processes and has led to the development of terraces on that margin. These terraces, which are larger than those observed on the other side of the main canyon, give rise to the interfluvial platforms between the nine tributary canyons. It has been possible to correlate the different terrace levels of the interfluvial platforms on the upper slope with those observed on the northern flank of the main canyon (Figure 48). The extension and evolution of the terraces are very different on both sides of the canyon, being less developed on the northern flank. The second

level terraces can hardly be observed on the northern flank, while on the southern flank of the canyon, linked to the interfluvial platforms, they have developed and spread out annexed to the first order terraces, especially in the central-western sector. The sedimentary distribution has a remarkable change at the first level terraces above 400 m depth in interfluvial platforms. From 400 m depth onwards, the reflectivity decreases due to the increased thickness of the sedimentary cover shown in the high resolution seismic profile (Figure 49B). Its remarkable occurrence is described in Rodríguez et al. (2021).

The crest of the first level terraces is a net boundary, which coincides with the escarpments of numerous slides and slumps originated by gravitational movements. Additionally, these movements are combined with mass-transport processes due to the sedimentary instability of the northward tilted platform and the sedimentary thickness at the ends of these terraces. The outer boundary of the first-level terraces is affected by gravitational slides with recognizable scarps (Figure 45, Figure 50 and Figure 52). In section, the concave relief of the continental slope in this sector stands out (Figure 52), and slides are locally affecting the outer limits of the first level terraces (Figure 45, Figure 48 and Figure 52). They are recognizable due to a rough seafloor, characterized by arcuate and semicircular slide scars associated with deformed sediment. These scars tend to coalesce forming multiple slides, creating large areas of erosion displaying a down slope oriented amphitheater-like failure surface, and sediment masses with a slightly to highly deformed seafloor. Their size is variable, ranging from 10 to 100 km. In some areas where the slope is less steep, the removed sediment forms deposits, e.g.in Lumai platform encompassing an area of 5 km^2, forming the following terrace levels. Conversely, in other areas of the steeper slope, the vertical walls have originated furrowed by a gully network with an irregular distribution less dense than tributary canyons walls. These areas connect directly with the lower slope and main canyon (Figure 46, Figure 48 and Figure 52).

The second level of terraces is located on the lower slope, which is the level that represents the steepest slope. It is bounded at the top by erosive scars generated as a result of processes triggered by sediment mass movements such as slides, slumps or debris. The base of the second level of terraces is situated at the foot of slope. On the southern flank of the CBCS this terrace level is more developed associated to the intertributary platforms, while on the northern flank it is limited to a narrow strip parallel to the meandering course of the main canyon, whose changes in dynamics combined with the mechanisms of gravitational mass movements have resulted in the pronounced arcuate or horseshoe morphology (Tranier, 2002).

The third terrace level corresponds to the deepest bottom in the CBCS, where the axis of the main canyon is embedded, which has formed this last level of almost flat slope with a smooth and eroded morphology and that occasionally presents small lobes or massive accumulations of sediments. The mass-transport processes through the second terrace level gullies and the products of this erosion must be deposited down to the slope break as depositional bodies but just in located areas have been observed (Figure 45).

The geomorphological features defined as slides and slumps at the head and walls of the tributary canyons reveal a movement that evolved in mass-transport processes and turbidity currents in the main canyon, identified as a mass-wasting system that eroded the seafloor defining an irregular seafloor and gully network drainage. These evidences seem to be the result of retrogressive failures and are also related to the steep slope gradients of the terraces (Gonthier et al., 2006; Ercilla et al., 2008). The mass-transport processes are also evidenced by the erosive scarps, and the strong erosive capability of the turbidity current flowing from the Capbreton turbidite system (Ercilla et al., 2008) that is the responsible of the eroded distal parts of the gullies at the foot of the lower slope in the second level terraces. The absence of sedimentary deposits at the third level terraces, except in the northwest area, as consequence of the mass-transport activity, also supports this interpretation.

Additionally, the marginal isolated platform located at the NW of El Zapato platform, presents a rectilinear east boundary parallel to the NE–SW lineal escarpment of El Zapato, and we can speculate that they were initially the same block. This evidence indicates a tectonic origin and suggest that it is a horst structure limited by normal faults and slightly tilted to the NW (Boillot et al., 1971) as other highs identified in the Cantabrian margin as El Canto Nuevo seamount in the Avilés Canyon System (Gómez-Ballesteros et al., 2014).

Therefore, the analysis of the morphosedimentary and morphotectonic features and processes at the CBCS indicates that tectonics, processes of sediment supply/re-distribution and transfer and sea-level changes constitute the main factors that would have controlled shelf deposition or erosion, canyon enlargement or incision and occurrence of instabilities in the continental slope within this area.

4.5.3. Pockmarks fields

The analysis of high-resolution seismic profiles, and their correlation with the present bathymetry, has provided relevant information about submarine structures

generated by gas-rich fluids emission and especially those related to the pockmark fields within this area. The presence of pockmarks is a phenomenon widespread observed in modern continental shelves all over the world (Hovland & Judd, 1988; Judd & Hovland, 2007). Sediments recovered from these seafloor structures are commonly organic-rich muddy sediments that may favor the generation, further accumulation and lately upward migration of fluids leading to the formation of a pockmark in the sub-surface (Fleischer et al., 2001). The occurrence of vast pockmark fields within the intertributary platforms is in accordance with this assumption. The greatest density of pockmarks largely develops in the most distal part of the interfluvial platforms, where thicker sedimentary layers occur, that is mainly in the Renkala, Arritxu and El Zapato platforms (Figure 41 and Figure 52). This is agreement with the fact that the development of pockmarks occurs in marine areas of high sedimentation rates, where greater sedimentary thickness develops favoring burial of OM (Judd & Hovland, 2007). In the case of the studied pockmarks, the highest mud and OM contents encountered at their sediments as well as the thicker sedimentary cover at the above mentioned Renkala, Arritxu and El Zapato platforms seem to support that these sites constitute potential areas for OM degradation, deep fluid generation, as well as current upward fluid migration throughout these pockmarks. Paleo-pockmarks have been also identified in the underlying substrate and are considered inactive fossil depressions. The occurrence of pockmarks seems to follow the formation of linear incisions observed in the seafloor, originating from fluid migration and leakage in sediment-filled canyons (Gillet et al., 2008). They develop associated with active tectonic processes related to zones of fragility (Iglesias et al., 2010). Alignments of pockmarks and an increasing gradation of their depth were observed, suggesting a possible tectonic control. Connections between these morphologies are also frequent, giving rise to linear incisions leading to the formation of channels, as observed in Renkala platform. In other sites, where pockmarks have been located in the platform edges, the heads or scarps of small landslides have been mapped, suggesting a relationship between pockmarks and areas with unstable slopes, which evolution could be the trigger of an initial stage of head canyon (Figure 49D). The relationship between these scarps and their associated deposits has been verified in high-resolution seismic profiles (Figure 49), most likely in areas of low sediment transport and low rates.

4.5.4. Vulnerable habitats presence

The described mega-slide base is a hard substrate that could be susceptible to host corals and sponges characteristic of the Red Natura 2000 1170 habitat. Thus, some

individuals of white corals (*Desmophyllum pertusum* and *Madrepora oculata*) were obtained in both campaigns of the years 1987-1988 (Altuna, 1995). During the Intemares_Capbreton 0619 and 0620 cruises, these rocky areas have been intensively sampled with ROTV Politolana with no evidence of the presence of habitat-forming species of the 1170 habitat (Gómez-Ballesteros et al., 2020, 2021a). Due to the geological and geomorphological characteristics of this area, it is deduced that the development of habitat 1170 would not be possible unless the rate of sedimentation is low enough so that the coral will not be buried by mobile unconsolidated sediments. Then, the strong erosion of both marine currents and flows of terrigenous material coming from the land would prevent them from growing.

The morphosedimentary comprehensive characterization and the processes are the base for the characterization of benthic habitats and to develop sedimentary and rocky substrate benthic habitat distribution models. Relevant areas for the settlement of habitat 1170 (Reefs) and 1180 (submarine structures made by leaking gases) of Annex I of the Habitats Directive have been detected in this study, in the hard substrates and in the pockmark fields respectively.

A close connection between the development of cold-water coral reefs and the environmental characteristics has long been hypothesized (Frederiksen et al., 1992; Freiwald et al., 2004; Freiwald & Roberts, 2005; Roberts et al., 2006, 2009; Hovland, 2008; Davies et al., 2009) and evidences supporting this relationship have been rapidly increasing in recent years. Several environmental factors favor coral settlement and growth: hard substrates, strong topographically guided bottom currents, nutrient-rich waters containing labile organic matter and zooplankton (Freiwald et al., 2004), and the depth of the aragonite saturation horizon (Davies et al., 2008). The presence of pinnacles and scarps are preferential sites for this communities and taking into consideration the particular geomorphology of this structural high, the coral reef formations have probably grown above pre-existing rocky outcrops. However, the ground-truthing study in this area does not reveal the presence of live or dead coral colonies (Gómez-Ballesteros et al., 2021a).

Additionally, it is considered that the pockmarks fields could represent particular habitats and host species linked to these emissions, so that they could form habitat 1180 Submarine structures made by leaking gases of Annex I of the Habitat Directive (EC, 2013b). Also, as in other underwater canyons in the Atlantic (Mortensen & Buhl-Mortensen , 2005; de Mol et al., 2011; Sánchez et al., 2014a), other habitats and species of corals and sponges of high biological value (Habitat 1170; EC, 2013b), but whose distribution and conservation status is unknown, are to be expected. Based

on the multibeam data and the ROV video imagery, two different cold-water coral reef (CWC) settings were distinguished in the Penmarc'h and Guilvinec Canyons along the Bay of Biscay (de Mol et al., 2011). Also, well developed coral reefs were described on the Aviles canyon system (central Cantabrian Sea area) by Sánchez et al. (2014a). In both areas of the Bay of Biscay, the living coral reefs in better condition are concentrated at depths between 700 and 1000 m, indicating their dependence on waters with water density (sigma–theta) of 27.35–27.55 kg m^{-3} as suggested by Dullo (2008). The presence of these environmental characteristics, in the levels between the lower bound of Eastern North Atlantic Central Water (ENACW) and the core of Mediterranean Water (MW), on suitable hard substrate for the settlement of CWC, is very limited in the Capbreton area since the sedimentary bottoms predominate on all the Capbreton canyon flanks.

In addition, the characterization of the bottom communities that will be carried out in next studies, integrating the results of this paper and the biological data obtained in the 2019 and 2020 cruises, will be fundamental to characterize the communities in the hard substrates and pockmark fields, and to determine the presence or absence of the habitat 1170 and 1180 with the data acquired from lander Geodia inside the pockmarks. The morphosedimentary characterization is the base to map the habitat distribution necessary to declare marine protected areas, and to tackle management measures with respect to conservation and protection. It is essential to carry out the analysis of the integration of marine protected areas in the context of the marine spatial planning to reverse the environmental degradation of the seas and facilitate the sustainable use of marine resources under an ecosystem approach (Gómez-Ballesteros et al., 2021c).

4.6. Conclusions

The present study indicates that the morphology of the northeastern Cantabrian margin is strongly conditioned by tectonics. The welldefined fractured and folded outcrops found in the continental shelf are a clear example of this. Moreover, the complex tectonic and structural framework in this region is also responsible for abrupt changes in the direction of the canyons axis, mainly from N–S to NW–SE of the Capbreton Canyon System (CBCS) and for the intertributary platforms evolution. Tectonics has also affected the seafloor morphology, giving rise to the building of two isolated structural highs (NW of El Zapato interfluvial platforms and SE of CBMS).

The continental shelf shows a flat and uniform slope with a thin unconsolidated sedimentary cover as a consequence of the high hydrodynamic regime affecting the Cantabrian margin, which favors the transport of sediment material along the slope.

The mass-wasting system features identified along the continental slope, especially in the tributary canyons and gully drainage system, have confirmed that mass-movements play an important role in the dynamics and shaping the CBCS in this continental margin.

Another remarkable characteristic of the studied area are the extensive pockmark fields found in the most distal areas of the interfluvial platforms, where the accumulation of rich-organic fine material is higher. The presence of these features is indicative of a frequent occurrence of escape of fluids from the underlaying sediments. The presence of paleo-pockmarks indicates that events of gas/fluid escape also took place in the past. The alignments of the pockmarks indicate that tectonic played an important role in its generation.

Hard substrates have been mainly mapped in the area in the continental shelf and at the base of the mega-slide. They highlight that the basement for structuring species provides three-dimensionality to the substrate and serves as support and protection for other species, enhancing the biodiversity of the environment.

The information and knowledge presented here will be clue to support further works focused on benthic habitats mapping and modeling, with the ultimate aim of identification and map vulnerable marine ecosystems that need the adoption of conservation measures.

CRediT authorship contribution statement

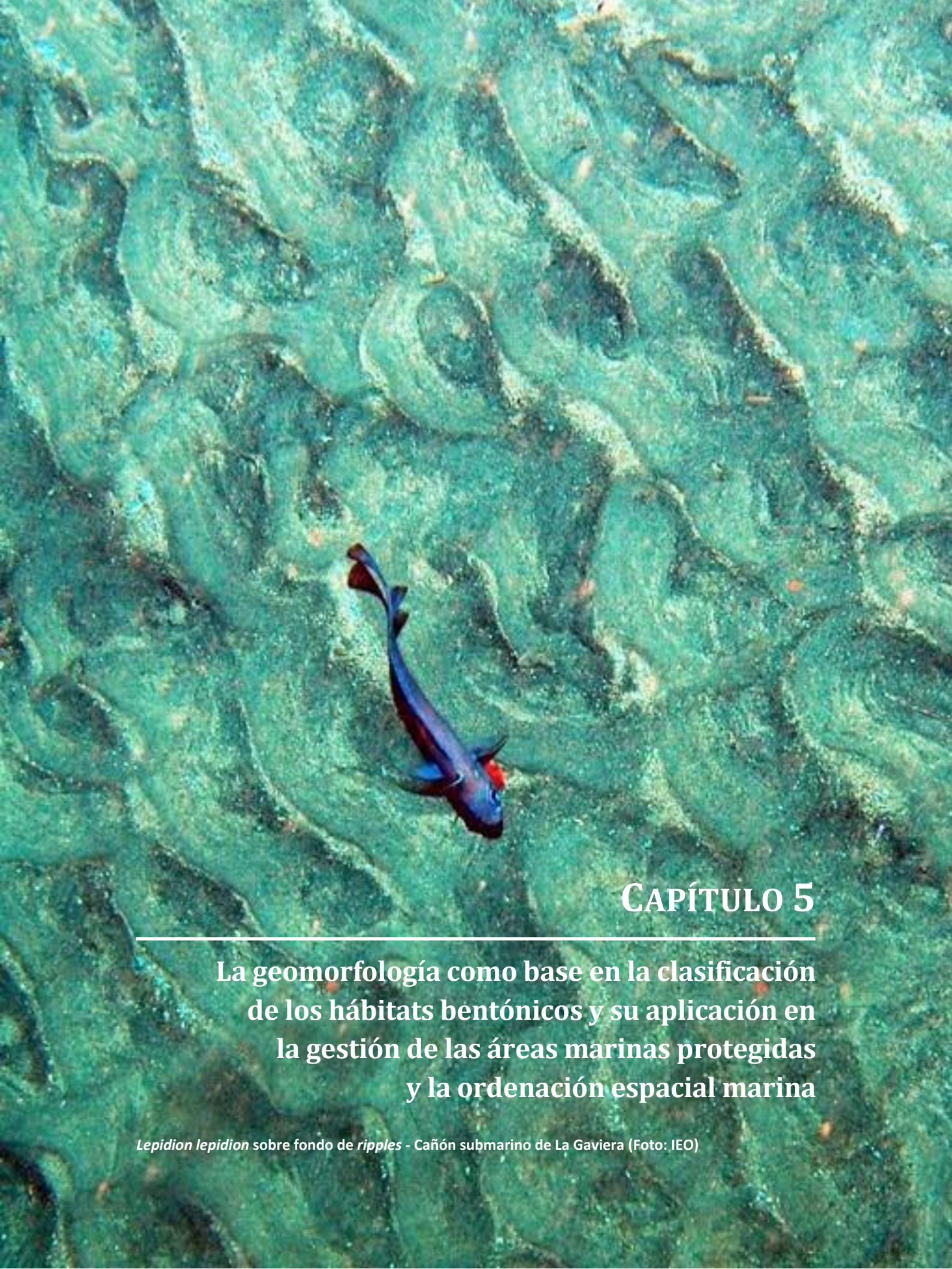
M. Gómez-Ballesteros: Writing – review & editing, Writing – original draft, Supervision, Project administration, Investigation, Funding acquisition, Formal analysis, Conceptualization. B. Arrese: Writing – review & editing, Visualization, Validation, Software, Methodology, Formal analysis, Data curation. I.P. Díez: Visualization, Software, Methodology, Data curation. I. Galparsoro: Validation, Resources, Formal analysis, Data curation. O. Sánchez-Guillamón: Writing – review & editing, Visualization, Validation, Software, Methodology. N. Martínez-Carreño: Validation, Software, Methodology. M. Sayago: Validation, Software, Methodology. C. López-Rodríguez: Formal analysis, Data curation. A. Rodríguez: Visualization, Validation, Investigation, Data curation. F. Sánchez: Supervision.

Declaration of competing interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

Acknowledgements

This research has been performed in the scope of the LIFE IP INTEMARES project, which is coordinated by the Biodiversity Foundation of the Spanish Ministry for the Ecological Transition and the Demographic Challenge. It receives financial support from the European Union's LIFE programme (LIFE15 IPE ES 012).



Capítulo 5

La geomorfología como base en la clasificación de los hábitats bentónicos y su aplicación en la gestión de las áreas marinas protegidas y la ordenación espacial marina

Lepidion lepidion sobre fondo de *ripples* - Cañón submarino de La Gaviera (Foto: IEO)

LA GEOMORFOLOGÍA COMO BASE EN LA CLASIFICACIÓN DE LOS HÁBITATS BENTÓNICOS Y SU APLICACIÓN EN LA GESTIÓN DE LAS ÁREAS MARINAS PROTEGIDAS Y LA ORDENACIÓN ESPACIAL MARINA

5.1. Introducción

Uno de los objetivos de esta tesis es proporcionar información y herramientas para la declaración de espacios marinos protegidos y la protección de sus hábitats, así como la gestión de los mismos incluida en la planificación espacial marina. En este capítulo se demuestra que los factores geomorfológicos (Micallef et al., 2018) condicionan significativamente la distribución de las comunidades biológicas y por tanto de los hábitats. Además, se pondrá de manifiesto que la configuración morfológica del fondo se puede utilizar como variable predictora para la distribución de hábitats, al ser uno de los principales factores que determinan su presencia. Las avanzadas técnicas de cartografiado del fondo marino hacen posible disponer de una cobertura completa del mismo a un nivel de resolución elevado, mientras que sería inviable obtener la información de las comunidades biológicas a esta resolución y continuidad espacial. Por lo tanto, el empleo de la geomorfología como predictor de la presencia y delimitación de hábitats es una herramienta primordial y única para la protección y gestión de los espacios marinos.

La gestión y conservación de los hábitats marinos requiere de información espacial y temporal. Esta información se representa a través de mapas de distribución de los hábitats obtenidos a partir de modelos predictivos, además de la información georreferenciada de cambios en el entorno que puedan impactar en estos hábitats, como son las presiones ambientales y humanas. Esto convierte los mapas y modelos en herramientas ideales para apoyar las decisiones en la conservación y gestión de los hábitats a partir de la información científica. Comprender los aspectos geológicos de los hábitats es crucial para su cartografiado, por lo que la geomorfología del fondo marino proporciona una información muy valiosa y clave sobre la distribución y las características de los diferentes hábitats.

Para la realización de estas cartografías, es necesario poder acceder a la información de los fondos marinos mediante tecnologías que tengan el potencial de cartografiar las características de los hábitats marinos y monitorear los cambios que sufren a lo largo del tiempo. El desarrollo de los sistemas de cartografiado marino de alta resolución, tales como las ecosondas multihaz en la década de los 90 (Clarke & Warwick,

1994; Lastras et al., 2009; Harris & Baker, 2012; Harris & Baker, 2019), han marcado un punto de inflexión en la forma en la que se estudia el fondo marino (Galparsoro, 2011).

Cabe destacar que, aunque estas estas tecnologías han traído nuevas oportunidades, su empleo es limitado debido tanto a su elevado coste, sumado el de operación de las mismas desde buques de investigación oceanográfica, como a factores ambientales limitantes, por las restricciones que impone la propia columna de agua o las condiciones meteorológicas. Este es el motivo principal por el que el porcentaje de superficie marina del planeta cartografiada mediante estas técnicas es aún muy limitado, y aquellas áreas en las que se ha podido llevar a cabo, como las zonas de los dos cañones submarinos estudiados en esta tesis, representan un hito en la investigación marina y el conocimiento de los fondos marinos de la Tierra.

Las ecosondas multihaz proporcionan una cobertura continua del fondo marino, mientras que el muestreo de las comunidades biológicas es puntual, limitado y correspondiente a localizaciones discretas como son las dragas o vídeos submarinos (metodología de muestreo descrita en el Capítulo 2). Por ello, la combinación de ambas aproximaciones metodológicas es la clave para obtener la caracterización de los hábitats de los fondos marinos. La acústica se considera la herramienta de teledetección más eficaz para cartografiar y monitorizar los fondos marinos; de hecho, algunos autores la han llegado a definir como la ciencia de la clasificación acústica de los fondos marinos (Montereale-Gavazzi et al., 2019b).

Los datos obtenidos mediante estas técnicas se emplean para la generación de modelos digitales de elevación de los cuales se pueden derivar aspectos morfológicos como la pendiente o la rugosidad (Wilson & Beyene, 2007), o analizar la respuesta acústica del fondo, o reflectividad, para inferir el tipo de sustrato y su composición (Brown & Blondel, 2009; Fonseca et al., 2009; Hughes Clarke, 2018). Las imágenes obtenidas del fondo marino presentan un gran potencial para producir un cambio radical dentro del conocimiento y entendimiento de la morfología submarina y de los procesos asociados al fondo (Finkl et al., 2008; Hernández-Molina et al., 2008; Hovland, 2003), la cartografía de hábitats bentónicos (Brown & Blondel, 2009; Kostylev et al., 2001; Ryan et al., 2007; Rodríguez-Basalo, 2019), la distribución de la biodiversidad bentónica (Zajac, 2008; de la Torriente, 2019), la riqueza de peces (Pittman et al., 2007), o la gestión de especies de interés comercial o protegidas (Galparsoro et al., 2009; de la Torriente, 2019). Más recientemente, dicha información ha sido empleada para la evaluación del estado ecológico para el cumplimiento de la DMEM (Borja et al., 2011; Serrano, 2022), la designación de áreas marinas prote-

gidas (Harris et al., 2008; Sánchez et al., 2017) y la planificación espacial marina (Campbell & Hewitt, 2006; Rodríguez-Basalo et al., 2019; Gómez-Ballesteros et al., 2014, 2022).

Gracias al uso de estas tecnologías, hoy es posible cartografiar y medir los atributos físicos del fondo marino con un detalle sin precedentes, y aumentar su conocimiento, muchas veces inexistente por las limitaciones de acceso intrínsecas en zonas profundas como los sistemas de cañones submarinos, los arrecifes de aguas frías, los montes submarinos, etc. (Harris & Baker, 2012). Las características geológicas se asocian comúnmente con conjuntos específicos de hábitats, y el conocimiento de la geomorfología del fondo marino permite la identificación, delimitación y clasificación de diferentes tipos de hábitat (Harris & Baker, 2019). Gracias a la caracterización geológica es posible cartografiar con precisión la distribución espacial de los hábitats bentónicos e identificar, *a priori*, áreas que probablemente alberguen estas comunidades bentónicas específicas. El potencial de esta cartografía (Greene et al., 2007) radica en su capacidad para proporcionar información fundamental para la gestión y conservación del medio ambiente marino, porque permite identificar áreas que son importantes para la biodiversidad y establecer prioridades de conservación. Algunas de las principales aplicaciones de la cartografía de hábitats son:

- Apoyar la planificación, la gestión y la toma de decisiones gubernamentales en el ámbito marino espacial para el diseño de áreas marinas protegidas.
- Llevar a cabo programas de investigación científica destinados a generar conocimiento sobre los ecosistemas bentónicos y la geología del fondo marino.
- Realizar evaluaciones de los recursos vivos y no vivos de los fondos marinos con fines económicos y de gestión, incluido el diseño de reservas pesqueras.
- Apoyar la toma de decisiones en los sectores productivos de la economía azul como la pesca, el turismo, la minería submarina, la energía eólica o el desarrollo de infraestructuras marítimas, entre otros muchos.

Estos propósitos resaltan la importancia de la geomorfología para guiar la gestión ambiental marina, los esfuerzos de conservación y el uso sostenible de los recursos marinos.

LOS HÁBITATS BENTÓNICOS EN LOS SISTEMAS DE CAÑONES SUBMARINOS DE AVILÉS (SCA) Y CAPBRETON (SCCB)

Las comunidades biológicas presentes en los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbretón responden a las características de un ecosistema de aguas templadas con elevada producción biológica, debido a la presencia del afloramiento costero estival y a una fuerte dinámica oceanográfica asociada al talud continental y los cañones (González-Pola et al., 2012). Al mismo tiempo, la existencia de una compleja geomorfología, que se manifiesta mediante numerosos tipos de fondos, condiciona una variada representación de hábitats en donde se asientan las diferentes comunidades biológicas. Los cañones submarinos tributarios cartografiados en ambos sistemas, juegan también un significativo papel como sistemas de alta producción biológica, debido a que actúan como mecanismos de transporte de sedimentos y materia orgánica desde la plataforma continental hasta las áreas profundas de más de 5000 metros de la llanura abisal del golfo de Vizcaya (Ercilla et al., 2008). El desarrollo de hábitats en estas zonas es muy variado, abarcando desde los organismos presentes en los fondos sedimentarios y afloramientos rocosos de la plataforma continental, hasta los que se asientan sobre los abruptos flancos de los cañones y escarpes rocosos. En los fondos de ambos sistemas de cañones, aparecen representados diversos hábitats vulnerables (Galparsoro et al., 2020) contemplados en la denominación 1170 Arrecifes de la Directiva Hábitats (DH). En las zonas de estudio destacan en esta tipología los arrecifes de corales de aguas frías, los bosques de gorgonias y las agregaciones de esponjas de profundidad y corales negros (Sánchez et al., 2014a, Rodríguez-Basalo et al., 2022).

La biodiversidad en estos sistemas es muy elevada (Fernández-Arcaya et al., 2017) y, por ejemplo, en el SCA se llevan inventariadas hasta la fecha más de 1300 especies bentónicas, algunas de ellas muy vulnerables, como son los corales, las esponjas y los tiburones de profundidad (Sánchez et al., 2014b) y que se encuentran incluidas en diversas normativas de protección. Trabajar en estas zonas marinas que abarcan extensiones que llegan hasta grandes profundidades y caracterizar geológica y biológicamente estos lugares de los que apenas se tenía ningún dato científico, ha supuesto uno de los grandes retos de la investigación de los fondos marinos, cuyos resultados se muestran parcialmente en esta tesis.

El enfoque multidisciplinar aplicado ha permitido emplear diferentes herramientas y técnicas de muestreo, explicadas en los capítulos anteriores, con el fin de incrementar el conocimiento de las zonas hasta llegar a disponer de una información detallada de la geomorfología, especies y hábitats presentes. Para ello se han aplicado

diversas aproximaciones metodológicas, abordando la caracterización geomorfológica través de la cartografía batimétrica, de los perfiles sísmicos de alta resolución y de los muestreos de sedimento y rocas, que han permitido elaborar los modelos digitales del terreno y mapas de tipos de fondo presentados en esta tesis. Además, en estos proyectos los expertos en comunidades biológicas han caracterizado las comunidades bentopelágicas, demersales, epibentónicas y endobentónicas, prestando especial atención a aquellas que conforman o estructuran los hábitats sensibles cuyo inventariado y cartografía era objeto principal de los proyectos, para conocer la presencia, distribución, estructura y funciones de los hábitats bentónicos.

El objetivo final de estos proyectos, que es la conservación y protección de los espacios marinos de áreas de alto valor ecológico con presencia de hábitats recogidos en el Anexo I de la DH y requeridos para la declaración de espacios protegidos, se ha logrado gracias a la caracterización de los hábitats bentónicos, su distribución y estado de conservación. Asimismo, se ha obtenido información muy valiosa sobre otros tipos de hábitats que, de acuerdo con criterios científicos, han sido propuestos para ser incluidos en la DH para, con ello, contribuir a su mejora en cuanto a la representación de hábitats marinos se refiere (p. ej., hábitats biogénicos sobre fondos sedimentarios, maërl y rodolitos, y fondos de cascajo). Para poder desarrollar el estudio de los hábitats bentónicos ha sido preciso realizar una caracterización geomorfología previa del área y así obtener los modelos de distribución espacial de estos hábitats, por lo que la cartografía de las estructuras geomorfológicas, tipos de fondos y capas derivadas de la cartografía batimétrica (pendiente, rugosidad, etc.), son esenciales e imprescindibles en estos estudios.

5.2. Identificación, caracterización y elaboración de mapas de distribución de hábitats bentónicos

Uno de los problemas para evaluar y describir los hábitats es la falta de consenso en establecer límites a su definición. Un 'hábitat' (del latín *habĭtat*, 3.ª pers de sing. del pres. de indic. de *habitāre*, 'habitar') es un área ecológica o ambiental habitada por una especie particular de animal, planta u otro organismo (Dickinson, 1963; Abercrombie et al., 1966). Habitualmente, se incluye la parte biológica, llamada «biocenosis», en el concepto de hábitat junto con la componente ambiental del mismo, el «biotopo». Esta última definición, incluyendo ambos componentes, es la más utilizada en la gestión ecosistémica, debido principalmente a la alta relevancia de los hábitats biogénicos, aquellos generados por una especie o grupo de especies, las llamadas especies bioconstructoras (HFS, por sus siglas en inglés).

El concepto de hábitat bentónico en el contexto de la gestión ecosistémica europea, y en esta tesis, incorpora aspectos físicos (geológicos e hidrográficos), biológicos y aspectos químicos del medio ambiente de los fondos marinos. Por lo tanto, podemos pensar en un hábitat bentónico como «un área espacial definida en la que el entorno físico, químico y biológico es claramente diferente del entorno circundante» (Kostylev et al., 2001, Harris & Baker, 2012). Por lo tanto, el hábitat bentónico es aquel que incluye el entorno físico en el que vive un organismo o comunidad, y que este utiliza para su desarrollo; es decir, son áreas físicamente distintas del fondo marino que están asociadas con la aparición de una especie en particular.

Esta problemática descrita incide de forma directa en la diversidad de clasificaciones de los tipos de hábitats. Debido a las dificultades que implica cuantificar muchos de los aspectos de los hábitats como estructura, dinámica, competencia, etc., a partir de la recopilación de los datos adquiridos *in situ* (Lima & Dill, 1990), la mayoría de las clasificaciones para propósitos internacionales de gestión y monitorización de hábitats abarcan solo ciertos componentes, como zonas biológicas derivadas de la profundidad o tipos de fondos marinos y sus comunidades asociadas (Airoldi et al., 2008; Fraschetti et al., 2008; Galparsoro et al., 2012). Como ya hemos citado, la definición de «hábitat» se ha convertido en sinónimo de descripciones de biotopos marinos (Olenin & Ducrotoy, 2006; Dauvin et al., 2012) sin tener en cuenta otro tipo de características asociadas al entorno físico y condiciones ambientales. En este sentido, el uso de metodologías estandarizadas que utilizan características del fondo marino (geomorfología, tipos de sustrato, profundidad, pendiente, reflectividad, etc.) obtenidos a partir de los estudios geológicos descritos anteriormente, y sumados los datos de especies obtenidos a partir del análisis de imágenes, se revelan como un método crucial en la cartografía de hábitats y su monitorización (Vertino et al., 2010; Buhl-Mortensen et al., 2013).

El estudio de las especies formadoras de hábitats es uno de los objetivos principales en las iniciativas de conservación, debido a su importancia en la estructuración y provisión de refugio y alimento para muchas otras especies bentónicas (Buhl-Mortensen et al., 2010; de la Torriente, 2020b). Su distribución depende del tipo de sustrato y de las características ambientales del entorno que proporcionan al medio físico las condiciones adecuadas a su modo de vida. De este modo, se han identificado un conjunto de descriptores ambientales que caracterizan el área ocupada por las especies formadoras de hábitat, y que permiten determinar sus preferencias de distribución y, por lo tanto, identificar distintos tipos de hábitat (Kostylev et al., 2001).

5.3. Clasificaciones de tipos de hábitats

Existen diferentes clasificaciones y denominaciones de tipos de hábitats que responden principalmente a dos funciones principales: nomenclatura científica y gestión ecosistémica.

5.3.1. Estandarización y jerarquización de la nomenclatura científica

Tanto para cubrir las necesidades científicas como de gestión del medio, es necesario generar una clasificación de hábitats común, jerárquica, basada en la ciencia y comprensible que represente la heterogeneidad del medio marino. Las dos principales son:

- El sistema de clasificación de hábitats marinos EUNIS (European Union Nature Information System).
- La lista patrón de los hábitats marinos presentes en España (LPHMPE).

La clasificación de hábitats EUNIS desarrollada por la Agencia Europea de Medio Ambiente se caracteriza por ser un sistema completo pan-europeo para la identificación de los hábitats. La clasificación es jerárquica y cubre todo tipo de hábitats, desde naturales hasta artificiales, desde terrestres hasta de agua dulce y marinos. Los tipos de hábitat se identifican mediante códigos, nombres y descripciones específicos y son incorporados a la base de datos para informar sobre la naturaleza en Europa. Los hábitats bentónicos marinos, los pelágicos marinos y los hábitats asociados al hielo marino se dividen en tres grupos distintos, cada uno con una estructura de clasificación separada en EUNIS. La primera gran división en la parte marina béntica de la clasificación EUNIS se basa en las principales zonas biológicas, en función de la profundidad, y en el tipo de sustrato. El nivel 3 de la clasificación refleja las principales regiones biogeográficas de los mares de Europa en función de sus distintas combinaciones de regímenes de salinidad y temperatura (Ártico, Báltico, Atlántico, Mediterráneo y mar Negro). Es el sistema de clasificación europeo más aceptado.

La LPRHE es la clasificación más utilizada a nivel nacional, y surge de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE, 2007), que establece el régimen jurídico básico para la conservación, aprovechamiento sostenible, mejora y restauración del patrimonio natural y la biodiversidad. A tal efecto, en su Capítulo I se establece la creación del Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos (IEHEM), que formará parte del Inventario Español del

Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (IEPNB). Como resultado de esta obligación, se elaboró la lista patrón de los hábitats marinos presentes en España (Templado et al, 2012). El IEHEM ejercerá un importante papel al garantizar el cumplimiento de la normativa nacional, así como los requerimientos de las directivas europeas de conservación de la naturaleza y los convenios internacionales ratificados por España en lo que se refiere a la protección y conservación de especies y hábitats marinos. El objetivo final es el de posibilitar la asignación de cada hábitat incluido en el IEHEM a su homólogo perteneciente a los listados nacionales, comunitarios y de convenios internacionales que se citan en el siguiente apartado. Esta última función enlaza con la segunda función, la gestión ecosistémica, que también se describe a continuación.

5.3.2. Catalogación de hábitats para la gestión ecosistémica (aplicación a Directivas de conservación y ordenación espacial marítima)

Su objetivo no es la clasificación *per se*, ya que abordan la catalogación como herramienta de gestión, inventariando los tipos de hábitats como unidades de gestión más que desde el punto de vista de una clasificación ecológica (p. ej., en el Anexo I de la DH). Esta clasificación/catalogación corresponde a listados nacionales, comunitarios y de convenios internacionales, entre los que podemos citar:

- Los hábitats marinos de interés comunitario (HIC) contenidos en el Anexo I de la DH y cuya conservación, mediante un plan de gestión, requiere la designación de ZEC (EU, 1992).
- Los sistemas naturales marinos contenidos en el Anexo de la Ley 30/2014, de 3 de diciembre, de Parques Nacionales (BOE, 2014a).
- La Clasificación de Referencia de los Tipos de Hábitats Marinos de la Región Mediterránea establecido en el marco del Plan de Acción para el Mediterráneo (Convenio de Barcelona, 2008).
- La lista de hábitats amenazados y/o en declive del Convenio OSPAR o Convenio sobre la protección del medio marino del Atlántico nordeste. (OSPAR, 1992).
- La lista de hábitat de la DMEM (EU, 2008) clasificados por país y subregión para el caso de los hábitats bentónicos.

Aunque existe esta gran diversidad de sistemas de clasificación de hábitats, en Europa son imprescindibles la clasificación de hábitats de la DH, para la inclusión en

la RN2000, y la clasificación EUNIS, para la incorporación obligada de los EM en la base de datos de la UE. En España, hay que añadir la LPHMPE por su relevancia en el asesoramiento a las Administraciones Públicas y por cubrir lagunas de tipos de hábitat de la clasificación EUNIIS debidas a particularidades regionales y biogeográficas.

Tabla 9. Resumen de las correspondencias y los vínculos entre algunos hábitat 1170 y los niveles EUNIS y la lista OSPAR de especies y hábitats amenazados o en declive y el Anexo I de la DH**.**

Geohábitat	EUNIS 3	Hábitats	EUNIS 4-6	Lista OSPAR	DH
Resalte rocoso (rotura de pendiente)	A6.1 Sustrato duro rocoso o artificial en fondos profundos A6.7 Estructuras en resalte de fondos profundos.	Roca batial de talud con corales negros y de bambú, gorgonias y esponjas grandes	A6.11 Fondos rocosos profundos A6.14 Cantos y bloques rocosos en fondos profundos A6.62 Agregaciones de esponjas de profundidad A6.621 Formaciones con *Pheronema grayi*	Jardines de coral Agregaciones de esponjas de profundidad	1170
	A6.1 Sustrato duro rocoso o artificial en fondos profundos A6.6 Fondos profundos con formaciones rocosas de origen biogénico (bioherms) A6.7 Estructuras en resalte de fondos profundos.	Roca batial de talud con corales blancos, negros y de bambú, gorgonias y esponjas grandes	A6.11 Fondos rocosos profundos A6.61 Comunidades de corales de profundidad A6.611 Corales de aguas frías (*Lophelia pertusa*) A6.62 Agregaciones de esponjas de profundidad A6.14 Cantos y bloques rocosos en fondos profundos A6.22 Gravas biogénicas en fondos profundos A6.75 Montículos de carbonato	Arrecifes de corales de aguas frías (Lophelia reefs) Jardines de coral Agregaciones de esponjas de profundidad Montículos de carbonato	1170
Arenas medias (cima)	A6.2 Sedimentos mixtos en fondos profundos A6.3 Arenas en fondos profundos A6.6 Fondos profundos con formaciones rocosas de origen biogénico (bioherms)	Arenas medias con parches de arrecifes de corales blancos (cima)	A6.61 Comunidades de corales de profundidad A6.611 Corales de aguas frías (*Lophelia pertusa*) A6.722 Comunidades de las cimas de montes submarinos, montículos o bancos dentro de la zona mesopelágica A6.22 Gravas biogénicas en fondos profundos A6.75 Montículos de carbonatos	Arrecifes de corales de aguas frías (Lophelia reefs) Montículos de carbonato	1170

La caracterización de los hábitats realizada debe ser incluida en el sistema de clasificación de hábitats EUNIS (Galparsoro et al., 2012) y relacionados con los catálogos

y anexos de las Directivas y convenios europeos. Un ejemplo de algunas de las correspondencias entre estas diferentes clasificaciones explicadas anteriormente para el caso del Hábitat 1170, sería el presentado en la Tabla 9.

Se hace por tanto indispensable, con el fin de apoyar la armonización en la aplicación de las normativas de conservación marina de los EM, la existencia de pasarelas entre las diferentes clasificaciones de hábitats marinos (Evans et al., 2014; Davies et al., 2004). No obstante, esta es a menudo una tarea difícil, especialmente en las aguas más profundas donde muchos hábitats son mal clasificados o incluso están ausentes en la mayoría de las listas completas de hábitats (de la Torriente et al., 2020a).

5.4. La geomorfología como base en la identificación y caracterización de hábitats: aplicación y demostración

La identificación y caracterización de los hábitats se basa en la obtención de datos en el medio a través de campañas oceanográficas multidisciplinares en las que se obtiene información de los componentes biológicos, geológicos y de oceanografía física. Los resultados de los muestreos biológicos son puntuales y, para obtener la potencial distribución de los hábitats, es necesario integrar los diferentes datos obtenidos tanto de las variables bióticas como abióticas, y utilizar herramientas numéricas de modelado matemático. Estas herramientas combinan las observaciones puntuales bióticas, como la presencia o abundancia de especies en lugares conocidos, con la información continua sobre las características ambientales y/o espaciales de esos lugares, lo que permite relacionar datos de distribución de especies con variables ambientales y generar predicciones espaciales de la distribución potencial de diferentes hábitats, comunidades y especies (Harris, 2012; de la Torriente, 2020a; Rodríguez-Basalo, 2021).

Las variables ambientales o biofísicas son utilizadas como predictores de la aparición de especies y comunidades bentónicas en la cartografía de hábitats marinos debido a su influencia en la distribución de las especies. Estas incluyen la temperatura, salinidad, concentración de oxígeno, disponibilidad de luz, composición del sedimento, tipo de sustrato, tamaño de grano del sedimento, rugosidad del lecho marino, temperatura del agua y procesos del lecho causados por olas y corrientes de marea (Harris, 2014; Harris, 2020). Estas variables proporcionan información sobre el carácter del sustrato y el tipo de comunidades bentónicas que pueden existir, lo que permite la identificación de hábitats potenciales y la predicción de la aparición de especies. Además, las perturbaciones físicas que involucran sedimentos del fondo

marino, como eventos de tormenta, transporte de sedimentos y pulsos estacionales de sedimentación, son cruciales para predecir la aparición de especies y comunidades, ya que pueden ejercer estrés físico sobre los organismos y afectar a su distribución al igual que a su desaparición (Ward et al., 1999; Passlow et al., 2006). Por ejemplo, la temperatura y la salinidad ejercen un control directo sobre la presencia de biota, y una salinidad reducida o más variable afecta negativamente a la diversidad de especies en los hábitats costeros y de plataforma (Todd et al., 2020).

En general, estos factores abióticos desempeñan un papel crucial en la configuración de la biodiversidad de los ecosistemas marinos y tienen efectos directos e indirectos sobre la presencia y abundancia de comunidades bentónicas. Comprender estos factores es esencial para predecir la aparición de especies y comunidades bentónicas en el mapeo de hábitats marinos (Kostylev & Hannah, 2007; McArthur et al., 2009). La configuración morfológica del fondo marino es uno de los principales factores que determinan la presencia de los hábitats, pero además, al ser más accesible disponer de capas de información continua de estas variables respecto de datos puntuales de muestreos biológicos, es empleada como variable predictora de su distribución. Por ello, la geomorfología del fondo marino es utilizada como indicador de la biodiversidad general en ambientes marinos como sustituto de datos biológicos continuos (Harris, 2020).

En términos generales, y a partir de los estudios geológicos del fondo marino, se obtienen cuatro tipos de capas de información que explican un alto porcentaje de la distribución de los hábitats bentónicos, y por ello son las utilizadas en los modelos predictivos.

BATIMETRÍA Y DERIVADAS BATIMÉTRICAS

Probablemente, en cuanto a valor resolutivo de los hábitats y a explicar la variación de los mismos, la batimetría es la capa más importante. Lleva asociadas otras variables ambientales de las que no se suele disponer de información con la resolución adecuada, como la temperatura, la salinidad, las masas de agua, las corrientes, etc. Las derivadas batimétricas son capas obtenidas a partir de la batimetría, como ya se ha explicado en los capítulos 3 y 4, y son muy importantes en estos modelos matemáticos; sin embargo, es necesario seleccionar cuidadosamente y utilizar de forma adecuada los parámetros de entrada para obtenerlas. Por ejemplo, en el caso del BPI grueso *(broad)* y el BPI fino *(fine)*, no sería de utilidad obtener estas capas sin estudiar previamente los valores de celdas utilizadas (radio de búsqueda) que dan el significado ecológico que se está buscando. Para ello es necesario realizar un ejer-

cicio de verificación; es decir, se emplean transectos de imágenes del fondo marino (Grasty, 2014; Abad-Uribarren et al., 2022) que pasen por diversos valores de BPI para la calibración. Un BPI demasiado fino podría fragmentar demasiado la capa en mosaico y no verse reflejado en las imágenes como depresiones (valores negativos) o resaltes (valores positivos), y uno muy grueso podría ser demasiado homogéneo y perderse la contribución de esta capa como determinante del asentamiento de las comunidades. Por ello, a partir del BPI grueso se buscan las grandes estructuras geomorfológicas, aunque en algunos casos puede ser sustituido y/o complementado con la capa de interpretación geomorfológica realizada a partir de la integración y el estudio de todos los datos de batimetría, perfiles sísmicos, muestras e imágenes obtenidas, además del calibrado. Esta calibración o comprobación a partir del mapa geomorfológico se hace con el resto de derivadas batimétricas que dependan de los parámetros de entrada para su obtención. Por lo general, la rugosida es poco explicativa, porque suele estar correlacionada con la pendiente.

En cualquier caso, el uso de muchas derivadas batimétricas en el proceso de modelado no condiciona la obtención de mejores resultados, sino más bien lo contrario, ya que los modelos funcionan con mayor éxito cuanto más acotadas y fiables son las capas de entrada en el modelo. Aumentar el número de capas en la información de entrada puede hacer perder significación de las variables más importantes y condicionantes, puesto que pueden ser antagónicas y algunas tener poca significación ecológica. Por ejemplo, las capas derivadas de la batimetría, como pueden ser la curvatura o la dimensión fractal, no son recomendables, porque carecemos de criterios biológicos para explicar su contribución y provocan entropía en el modelo. Los trabajos en los que se ha desarrollado este tipo modelado predictivo en el área de estudio (Sánchez et al., 2014a, 2014b, 2017; Serrano et al., 2017; Rodríguez-Basalo, et al., 2019, 2021, 2022; Abad-Uribarren et al., 2022; Modica et al., 2022) concluyen que el BPI, la pendiente y la orientación suelen ser las capas derivadas de la batimetría que mejor explican la distribución de los hábitats dentro este grupo de variables abióticas.

REFLECTIVIDAD

Los mapas de reflectividad del fondo marino son muy significativos del tipo de sustrato o naturaleza del mismo, y aportan una información muy valiosa sobre su relativa dureza y rugosidad. Los tipos de fondos más duros, como los sustratos rocosos, reflejan más sonido que los tipos de fondos más blandos, como los fangos, y los tipos de fondos más lisos reflejan más sonido que los tipos de fondos más accidentados, como los arrecifes de coral. Por ello, la reflectividad se puede utilizar para clasificar

los sedimentos superficiales y, en algunos casos, incluso las comunidades biológicas que los acompañan (Anderson et al., 2008; Montereale-Gavazzi, 2019a).

Sin embargo, son muchos los factores externos asociados a las propiedades de la reflectividad, como la columna de agua (temperatura, salinidad, turbidez, naturaleza y dinámica de las corrientes), al tipo de sustrato y propiedades intrínsecas del mismo (porosidad, composición, tamaño de grano, homogeneidad interna del sedimento interfaz agua-sedimento, etc.), el propio ángulo de incidencia de la señal acústica, la reverberación, etc. Por tanto, los mapas de reflectividad pueden presentar muchos artificios obtenidos como consecuencia de diferentes factores y que no exista una relación directa entre el tipo de fondo y el valor en dB, sobre todo si las condiciones de adquisición variaron (por ejemplo, si se tomaron en dos campañas diferentes, por la diferencia en las condiciones de la columna de agua).

El factor de la pendiente también influye de forma sustancial, ya que en áreas de elevada pendiente, como ocurre en los flancos de los cañones submarinos, la señal no se refleja correctamente y genera unas variaciones que no corresponden al tipo de sustrato y que resulta muy difícil eliminar en el procesado posterior de los datos. La reflectividad se ve afectada por la pendiente del fondo marino, la rugosidad, el tamaño del grano del sedimento, la presencia de formas de fondo y otros factores que varían en importancia dependiendo de la frecuencia de la ecosonda y del ángulo de incidencia de la onda acústica (Gardner et al., 1991; Harris, 2020). Así, en función de los cambios de pendiente y de la adquisición de los datos, el mapa de reflectividad puede ser una variable de entrada de mucho peso en los modelos o no (Sánchez et al., 2009). En aquellos casos en los que no es posible eliminar todos estos artefactos que condicionan las tendencias de la señal, es mejor optar por no utilizarla en los modelos directamente como variable de entrada, pero sí de manera indirecta, es decir, en la interpretación geológica para generar las capas tipos de fondo y geomorfología.

TIPOS DE FONDO

La capa de naturaleza del fondo marino o tipos de sustrato, es una de las variables más importantes para poder explicar la distribución espacial de los hábitats bentónicos. A partir del análisis conjunto de todos los datos geológicos obtenidos (Brizzolara et al., 2020), como la batimetría, la reflectividad, el análisis granulométrico de las muestras de sedimento, o la interpretación de los perfiles sísmicos de ultra alta resolución y de las imágenes del fondo, se realiza el mapa de la distribución espacial de los distintos tipos sedimentarios. Los tipos de fondos sedimentarios se clasifican a partir del tamaño medio del grano (Q50 Phi) de las muestras y, mediante

geoestadística, se obtiene una capa que es posible utilizar en los modelos predictivos para discriminar las dependencias ambientales de las comunidades bentónicas de los distintos fondos sedimentarios.

GEOMORFOLOGÍA POLIGONAL

Esta capa se obtiene a partir del mapa geomorfológico y se introduce en los modelos predictivos de forma categórica y no continua, como es el caso de las capas anteriores, y en aquellos casos en donde en el área de estudio existen estructuras que pueden condicionar la presencia de especies (flancos de cañones, plataformas marginales, talud superior, etc.) y que no se discriminan previamente con los cuatro tipos de variables ya descritas.

Además de las capas antes explicadas, es necesario integrar los diferentes datos obtenidos de manera puntual en los muestreos biológicos. Para ello, se aplica el análisis multivariante de ordenación o clasificación, para identificar las diferentes comunidades biológicas y, posteriormente, se realiza el modelado de la distribución potencial de los hábitats ocupados por las mismas (Reiss et al., 2014). Los estudios geológicos descritos en esta tesis intervienen en los tres niveles, tal y como se explica en los siguientes apartados.

Para la identificación y caracterización de los tipos de hábitats bentónicos se utilizan diferentes técnicas de modelado basadas en modelos de distribución de especies (SDM, por sus siglas en ingles), también conocidos como modelos de nicho ecológico o modelos de idoneidad del hábitat. Los SDM son usados cada vez más en el entorno marino para desarrollar modelos predictivos y mapas de especies individuales, hábitats y métricas biológicas como la abundancia, biomasa, diversidad y rasgos funcionales en el espacio geográfico. Estos modelos ayudan a explicar los múltiples factores interrelacionados que influyen en los patrones de distribución biológica y a predecir las consecuencias del cambio ambiental (Melo-Merino et al., 2020). La mayoría de los SDM son correlativos, esto es, se basan en las relaciones especie-ambiente obtenidas de ubicaciones conocidas de presencia, y son construidos utilizando enfoques estadísticos de modelos.

La amplitud y variabilidad ambiental de las dos zonas de estudio implica la utilización de métodos de muestreo adecuados a cada tipo de fondo y comunidades biológicas, que ya han sido explicados en el Capítulo 2. Por ello se han efectuado distintas aproximaciones analíticas en el estudio de los hábitats en función de la resolución espacial de dicha estrategia de muestreo: una metodología y análisis para los fondos

sedimentarios de la zona de la plataforma continental y talud superior, y otra aproximación metodológica para los fondos rocosos de la plataforma continental y de los cañones tributarios. Todas las capas ambientales han sido adaptadas a la escala de trabajo en cada caso. Con esta aproximación se ha pretendido optimizar la fiabilidad de los resultados, ya que la diferencia de resolución de los datos descriptivos de entrada influye en gran medida en la precisión y fiabilidad de los resultados obtenidos por los modelos predictivos de hábitat potencial. Por este motivo, es fundamental contar con unos datos de entrada correctamente procesados, analizados e interpretados, que van a dar lugar a las múltiples capas de entrada.

En este sentido, la clasificación morfosedimentaria y la caracterización de los tipos de fondo son datos esenciales en las variables ambientales de entrada a los modelos predictivos de distribución de hábitats, que en función del tipo de hábitat a modelizar podrán variar, como se explicará más adelante. Estos procesos de modelado predictivo pueden seguir dos aproximaciones diferentes:

1) Aproximación *predict first, assemble later* ('predecir primero, luego ensamblar'): Primero se caracterizan las unidades geomorfológicas o geohábitats y luego las biocenosis o agrupaciones biológicas dentro de esas unidades. Se trata de realizar un clúster o dendrograma con todas las características geológicas (e incluso oceanográficas) para obtener grupos homogéneos ambientales, por ejemplo, mediante ISOCLUSTER que es un método de clasificación no supervisado (Forgy, 1965). Este método fue aplicado en los estudios (Sánchez et al., 2017) llevados a cabo en El Cachucho, primera Área Marina Protegida (AMP) en España (mar Cantábrico), a partir de la aplicación de estudios holísticos, combinando análisis geológicos y biológicos (Figura 53, Figura 54 y Figura 55, y Tabla 10) que fueron realizados por el mismo grupo de investigación en el que se ha desarrollado la presente tesis. Esos «geohábitats» equivalentes a EUNIS 2-3 necesitaron posteriormente la caracterización biológica para los niveles superiores de EUNIS o de la lista patrón de los hábitats marinos presentes en España (LPHMPE).

2) Aproximación *assemble first, predict later* ('primero ensamblar, luego predecir'): Primero se determinan las agrupaciones biológicas o comunidades a través de un clúster partiendo únicamente de la presencia o densidad de las especies; después se determinan las preferencias ambientales (geología, hidrografía, etc.) de los distintos grupos mediante análisis multivariante para estimar la contribución de las distintas variables. Estos agrupamientos biológicos-ambientales se identifican con hábitats (biotopo + biocenosis). El pa-

so final correspondiente a la predicción es el modelado para obtener la cartografía predictiva de distribución de hábitats, que se nutre sobre todo de los datos de presencia o abundancia de especies bioconstructoras, o la presencia de los agrupamientos que definen las principales comunidades, y de los datos ambientales (derivados de la geología, principalmente).

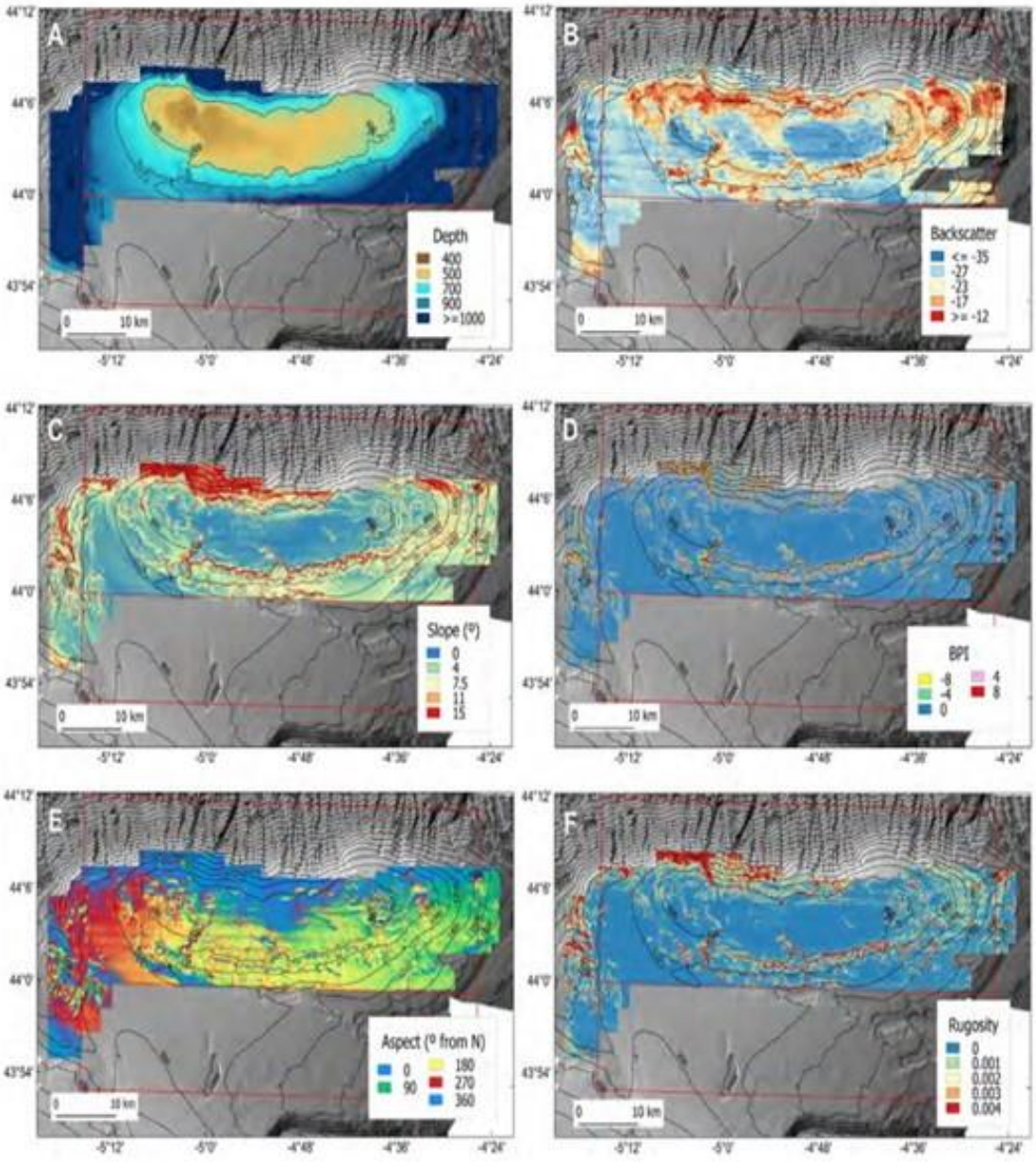


Figura 53. Distribución espacial de algunas variables ambientales obtenidas a partir de los estudios geológicos en el AMP El Cachucho en el mar Cantábrico (primera área marina protegida en España): A) Profundidad, B) Reflectividad, C) Pendiente, D) Escala fina BPI, E) Orientación, F) Rugosidad. (Sánchez et al., 2017).

Tabla 10. Tabla con cobertura superficial de clases de hábitat y resultados estadísticos (desviación estándar y distancia mínima iterativa (IMD) del análisis ISOCLUSTER para cada una de las variables anteriores. H) Porcentaje de cobertura de facies (a partir de la verificación del terreno) de la clasificación de los hábitats obtenidos con el análisis ISOCLUSTER. Las facies de hábitats sedimentarios (clases C y G) no son realistas (valores en cursiva). (Sánchez et al., 2017).

Habitat classes	Coverage area (ha)	Standard deviation	Iterative Minimum Distance (IMD)			
			Slope	BPI	Depth	Backscatter
A	7287.1	1.459	62.743	17.122	−230,166.8	−120.372
B	22,910.6	1.027	29.123	−1.997	−206,508.1	−134.252
C	21,683.7	0.626	14.838	−0.133	−167,943.8	−194.756
D	1201.6	3.272	166.457	73.984	−285,823.6	−149.003
E	6297.4	1.667	104.686	0.528	−324,559.1	−170.430
F	2329.8	2.869	134.923	−55.083	−291,865.0	−143.881
G	32,586.3	0.807	26.334	0.245	−292,686.9	−188.375
H	10,475.4	1.173	40.461	−1.229	−414,478.8	−149.826

Facies	Image coverage (m^2)	Percentage of coverage by habitat classes							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Sand	541.3	1	4	*2*	0	1	0	*5*	0
Rippled	516.0	1	0	*12*	0	0	6	*93*	2
Rippled and pebbles or boulders	20.0	0	0	*0*	0	11	10	0	10
Mixed sediments	3013.0	16	31	*12*	5	7	17	0	5
Pebbles or boulders with mixed seds.	4146.5	12	27	*41*	17	8	13	0	20
Bedrock with mixed sediments	9618.0	55	28	*21*	30	35	13	2	22
Bedrock	4973.4	15	7	*3*	44	20	29	0	0
Nodules	1395.4	1	3	*0*	3	8	11	0	40
Biogenic debris	330.6	0	0	*8*	1	10	1	0	1

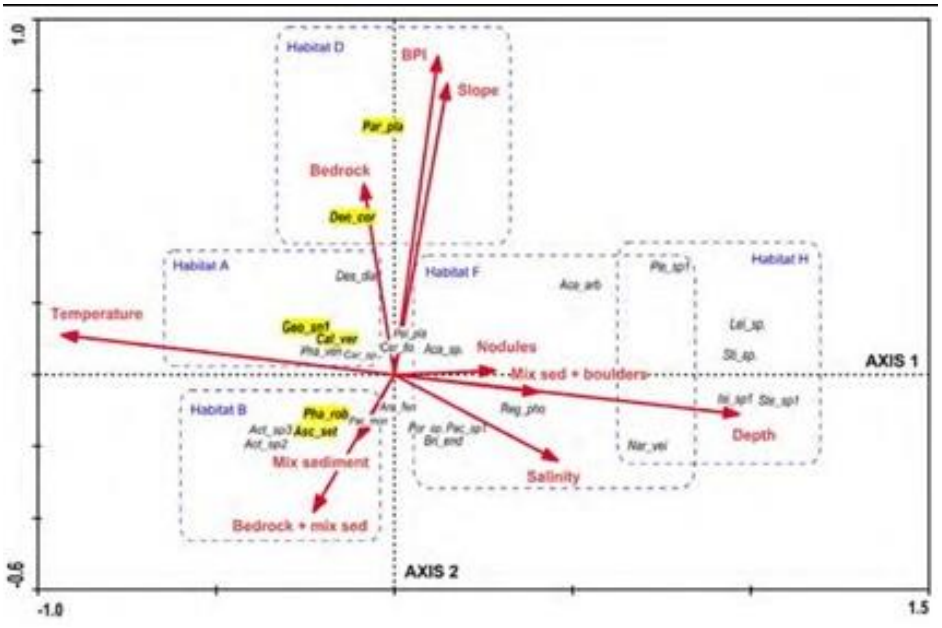


Figura 54. Resultados del análisis multivariante (análisis de correspondencia canónica o CCA) que muestran las contribuciones ambientales (flechas rojas) para los conjuntos de especies objetivo; se considera que las especies destacadas estructuran los hábitats del 1170 Arrecifes, basado en modelos de hábitats adecuados; las ubicaciones estimadas de las clases de hábitat ISOCLUSTER corresponden a los cuadros azules. (Sánchez et al., 2017).

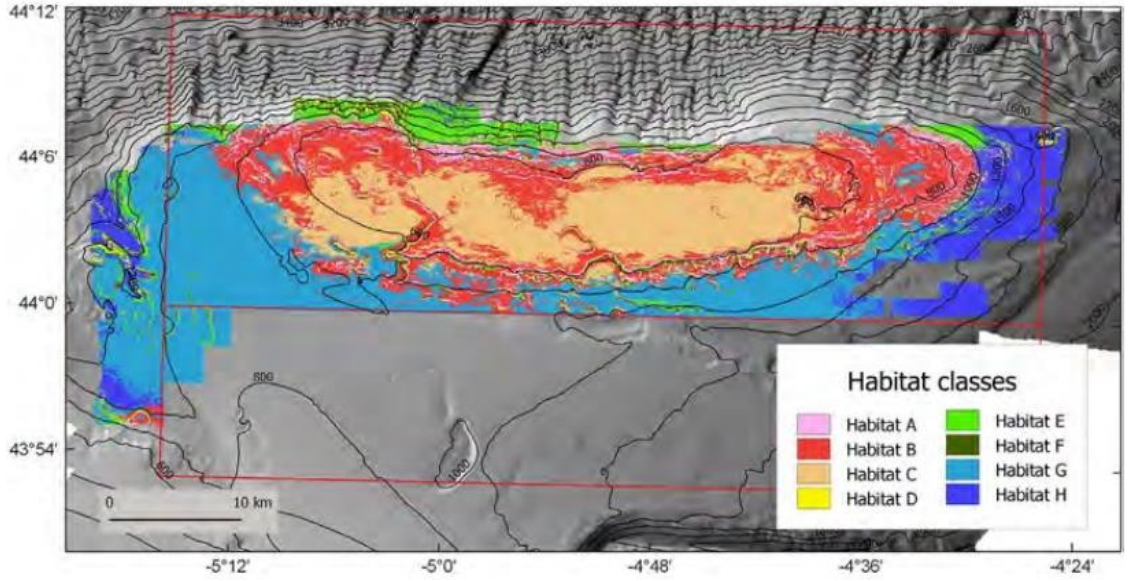


Figura 55. Distribución espacial prevista de las ocho clases de hábitat obtenidas del análisis ISOCLUSTER utilizando batimetría, reflectividad, pendiente y escala fina BPI como variables ambientales. (Sánchez et al., 2017).

En la primera aproximación obtenemos la distribución probable de una determinada especie y, en la segunda, la del hábitat de cada comunidad. Puede modelarse la distribución de especies bioconstructoras, hábitats biogénicos, hábitats como unidades de gestión (p. ej. 1170), etc., pero en todos ellos son necesarias las capas derivadas de los estudios geológicos que, dependiendo del tipo de modelado a realizar, pueden ser unas u otras, como se explica a continuación mediante dos casos de modelado predictivo de hábitats, uno en fondos sedimentarios y otro en fondos circalitorales rocosos.

5.4.1. Aplicación de la geomorfología en el modelado predictivo de hábitat en el sistema de cañones submarinos de Avilés

Los modelos predictivos de distribución potencial de los hábitats, son fundamentales en la toma de decisiones dirigidas a su conservación y gestión. Proporcionan información sobre las áreas que son más propicias para albergar comunidades bentónicas y ayudan a identificar las áreas que requieren una mayor protección o una gestión adecuada. Estos modelos están basados en capas abióticas que permiten predecir la distribución espacial de los hábitats y las comunidades bentónicas en un área determinada. Al combinar estas variables con datos de presencia y abundancia de especies, se pueden desarrollar modelos más precisos que ayuden a identificar las áreas de mayor importancia para la conservación y gestión de los hábitats bentónicos

(Sánchez et al., 2017). Además, el modelado basado en capas abióticas también puede ayudar a evaluar el impacto de las actividades humanas en los hábitats bentónicos para diseñar la estrategia de mitigación adecuada (Módica et al., 2022).

El proceso de modelización de hábitats requiere de un trabajo conjunto entre expertos en geología y biología para integrar las capas abióticas con las capas bióticas, siendo el análisis de los geólogos el primer nivel. Para poder explicar con precisión el trabajo necesario a la hora de incorporar la información geológica en esta primera fase de los modelos predictivos de hábitat, se describe a continuación el caso del SCA que fue llevado a cabo para presentar la propuesta de Lugar de Importancia Comunitaria (LIC) (IEO, 2014; Sánchez et al., 2014b). Como ya se ha explicado anteriormente, el SCA está declarado como LIC (BOE, 2014a) mientras que el SCCB, una vez realizada la caracterización geomorfológica (Capítulo 4), se encuentra en proceso de desarrollo de los modelos de predicción de hábitats para, posteriormente, facilitar la presentación de su propuesta como LIC.

Toda la información adquirida durante las campañas de investigación oceanográfica llevadas a cabo en la zona de estudio de ambos sistemas de cañones (Tabla 1) fue posteriormente procesada, analizada e interpretada en el laboratorio con diversas metodologías aplicadas en función de la naturaleza de los datos (batimetría, reflectividad, imágenes de vídeo, muestras de sedimento, datos físico-químicos de la columna de agua, etc.). Los resultados obtenidos hasta este capítulo en la presente tesis han sido una completa descripción de la geomorfología de los fondos marinos de ambos sistemas de cañones que además se ha representado a través de diferentes capas georreferenciadas (batimetría, reflectividad, tipos de fondo, rugosidad, pendiente, escarpes, ejes cañones, etc.). Estas capas de información han sido, junto con las capas de oceanografía y la identificación de las principales comunidades biológicas que habitan en sus fondos, la información clave para posteriormente realizar los modelos de distribución de hábitats, tal y como se han descrito en el apartado anterior.

Pero, para llevar a cabo el modelado predictivo, además de la contribución de las capas continuas de información del fondo marino, se emplearon las capas puntuales de identificación de especies, obtenidas bien a partir de transectos de muestreo por lance en los fondos sedimentarios, bien de los transectos de vídeo en los fondos rocosos, los datos de las características sedimentarias del fondo obtenidos a partir del muestreo por draga de sedimento (Figura 56 y Tabla 11), y los datos de las variables físico-químicas adquiridos a partir de los perfiladores CTD (Tabla 1).

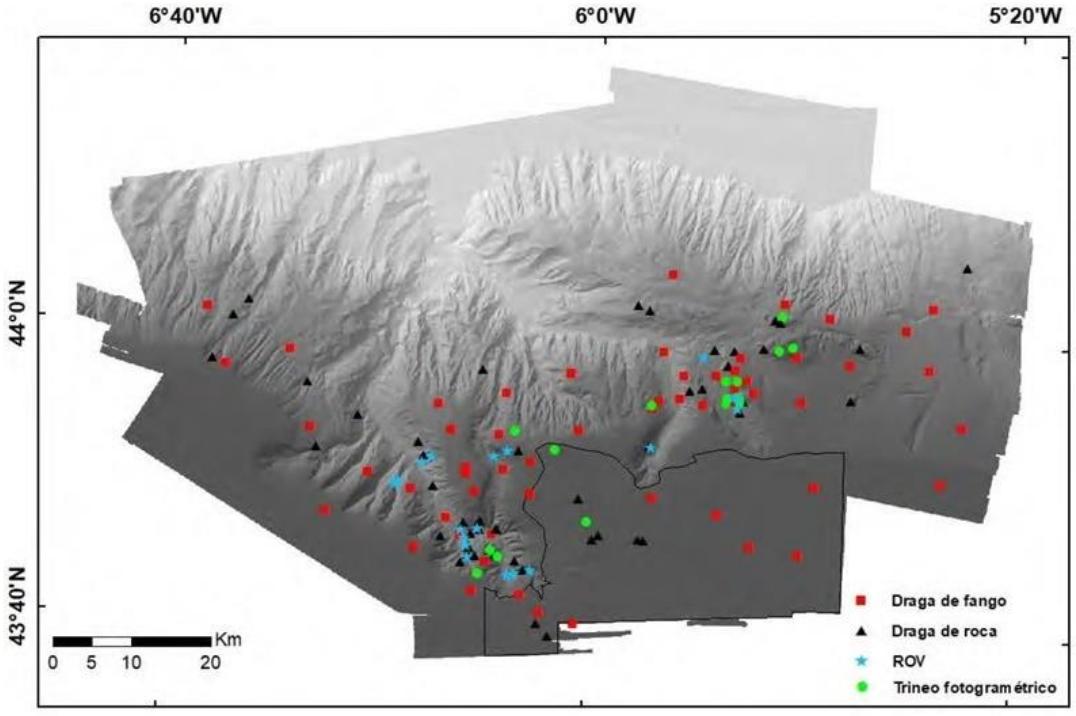


Figura 56. Muestreos realizados durante el Proyecto INDEMARES en el área del sistema de cañones submarinos de Avilés.

Tabla 11. Muestreos realizados durante el Proyecto INDEMARES en el área del sistema de cañones submarinos de Avilés.

Tipo de muestreador	N.º de muestras	Rango de profundidad	Aplicación
Mesobox-corer	57	83-1881 m	Tipos de fondos sedimentarios
Draga de roca	51	54-2291 m	Sustratos duros y sedimentos semiconsolidados Afloramientos rocosos
ROV Liropus	19	237-1800m	Imágenes de alta definición y recogida de muestras del fondo
Vehículo fotogramétrico Politolana	28 transectos vídeo	hasta 2000 m	Vídeo e imágenes de alta definición y propiedades fisicoquímicas de la columna de agua

El estudio de los hábitats del SCA abarca un elevado rango de profundidades, desde los 100 m en la plataforma continental media y externa del piso circalitoral, al talud superior y cañones submarinos de 2000 m del piso batial, y hasta los 4800 m. La mayor parte de la superficie de la plataforma continental del mar Cantábrico se encuentra recubierta de sedimentos, por lo que es de esperar aquí un predominio de los hábitats de fondos blandos. En términos generales, los procesos de sedimentación en las plataformas continentales condicionan una disminución progresiva de la granulometría en relación a la distancia a la costa. Esta progresiva disminución del tamaño del grano, producida por la decantación del material en suspensión, es función de determinadas variables como son la profundidad, la velocidad y dirección, y el sentido de las corrientes que condicionan la energía de transporte, de forma que, al disminuir la energía, se depositan primero los granos mayores y sucesivamente los de menores tamaños, pasando desde arenas gruesas a fondos fangosos.

Este patrón general, observable en el mar Cantábrico se ve alterado en el SCA debido a la influencia de los efectos topográficos sobre las corrientes marinas y a la gran actividad de los cañones submarinos como colectores de los aportes terrígenos recibidos de los ríos Narcea y Nalón, cuya desembocadura se localiza en esta parte del mar Cantábrico. Los sedimentos son transportados y canalizados desde su origen continental hasta la llanura abisal, a través de la densa red de drenaje desarrollada por el sistema de cañones. Por ello, existen también importantes áreas con afloramientos rocosos sobre la plataforma, principalmente al norte del cabo de Peñas, entre las tres cabeceras de los cañones, con escasa o nula cobertura sedimentaria (Figure 45), donde cabe esperar la presencia de hábitats de fondos rocosos o sustratos duros. Todo esto implica una enorme variabilidad ambiental, lo que conduce a una gran diversidad de hábitats y a una fragmentación de los mismos, ofreciendo en muchas zonas una distribución en mosaico que dificulta mucho su estudio y cartografía a gran escala.

Los hábitats identificados pertenecientes a los pisos circalitoral y batial se pueden, a su vez, agrupar según el tipo de fondo o sustrato, considerando como hábitats sedimentarios los existentes sobre arenas, fangos, cascajo, etc., (Figura 57) y como hábitats de fondos duros los presentes sobre rocas, arrecifes de coral, etc. (Figura 58 y Figura 59) por ello, los expertos han llevado a cabo diferentes aproximaciones de modelado en función del tipo de sustrato, realizando por un lado los modelos predictivos para hábitats en sustratos blandos o fondos sedimentarios (Modica et al., 2022) y por otro para aquellos sustratos duros o fondos rocosos (Rodríguez-Basalo et al., 2022).

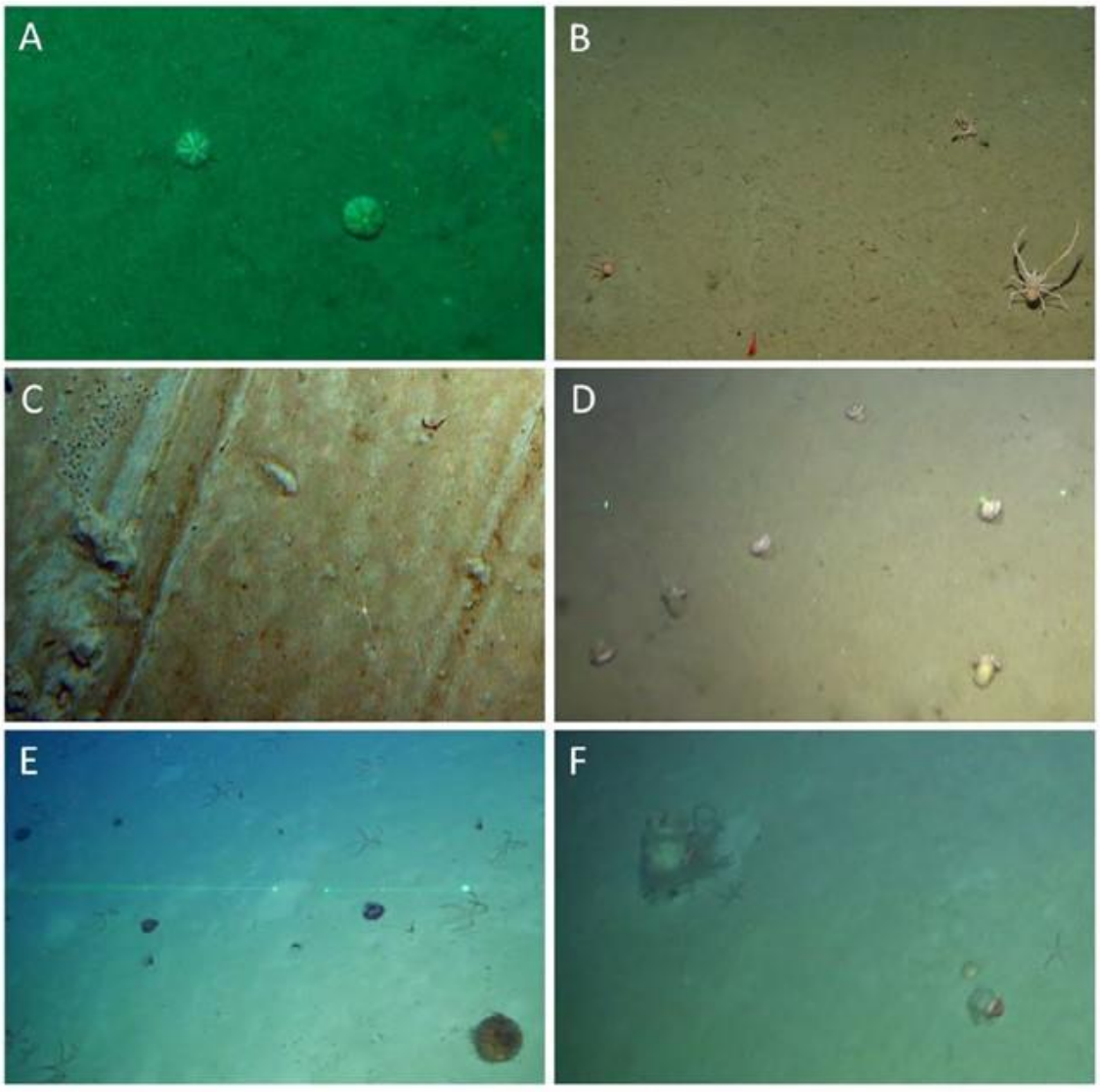


Figura 57. Fotografías representativas de los principales hábitats de fondos sedimentarios del sistema de cañones de Avilés: arenas gruesas circalitorales con *Gracilechinus acutus* (A), arenas finas circalitorales y batiales con *Munida sarsi* (B), arenas finas batiales con *Ophiura ophiura* (C), arenas finas batiales dominadas por Hormathiidae (*Actinauge richardi*) (D), fondos sedimentarios batiales no fangosos con erizos de cuero (*Araeosoma fenestratum* y/o *Phormosoma placenta*) (E) y fangos batiales con *Pheronema carpenteri* (F).

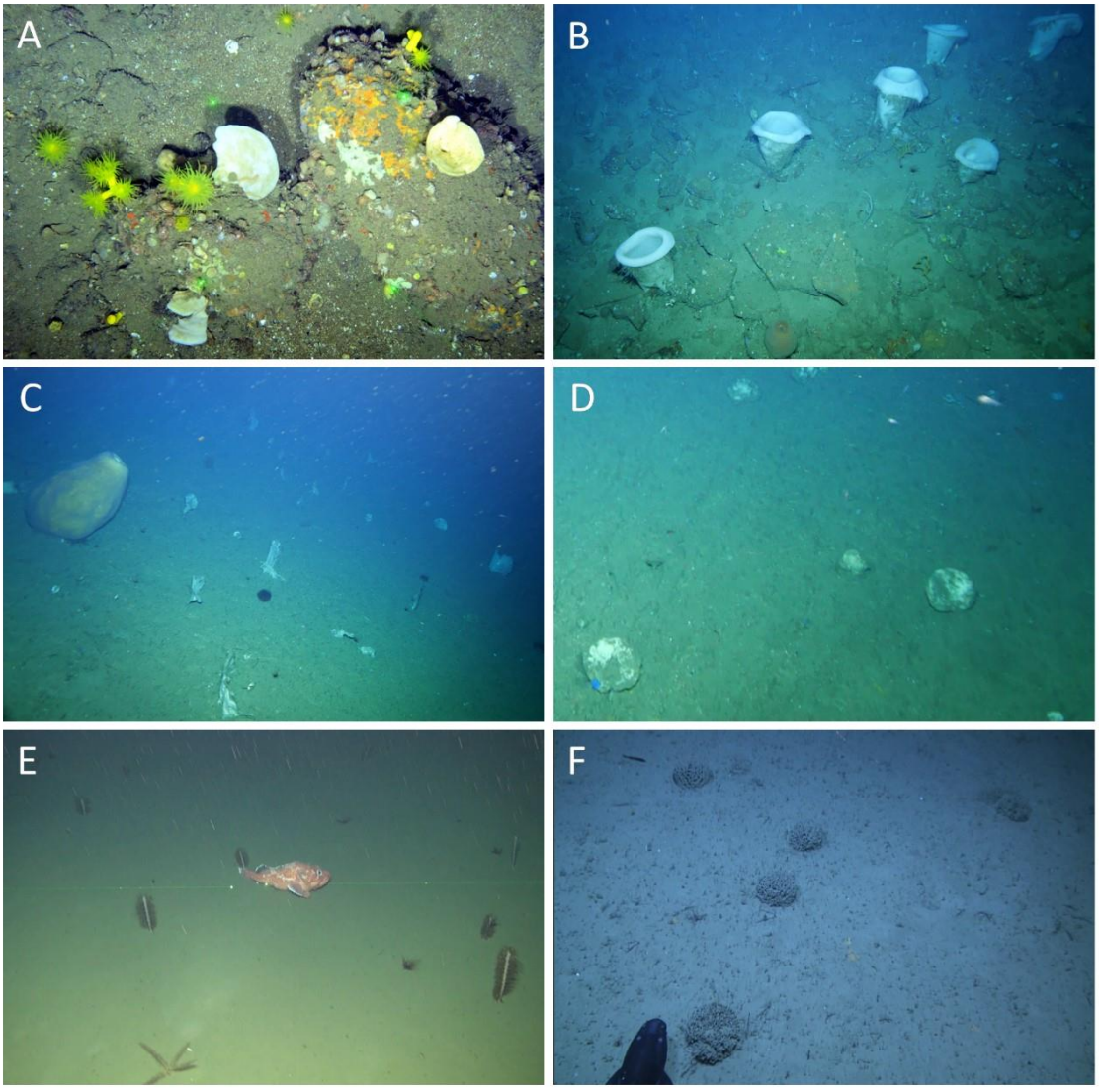


Figura 58. Fotografías representativas de los principales hábitats de fondos duros identificados en el sistema de cañones de Avilés: fondos rocosos circalitorales con *Dendrophyllia cornigera* y *Phakellia ventilabrum* (A), roca batial con *Asconema setubalense* (B), fondos rocosos profundos con esponjas (C), fondos rocosos profundos con la esponja litistida *Neoschrammeniella aff. bowerbankii* (D), fangos batiales con dominancia de *Kophobelemnon stelliferum* (E) y fangos batiales con foraminíferos (*Syringammina*) (F).

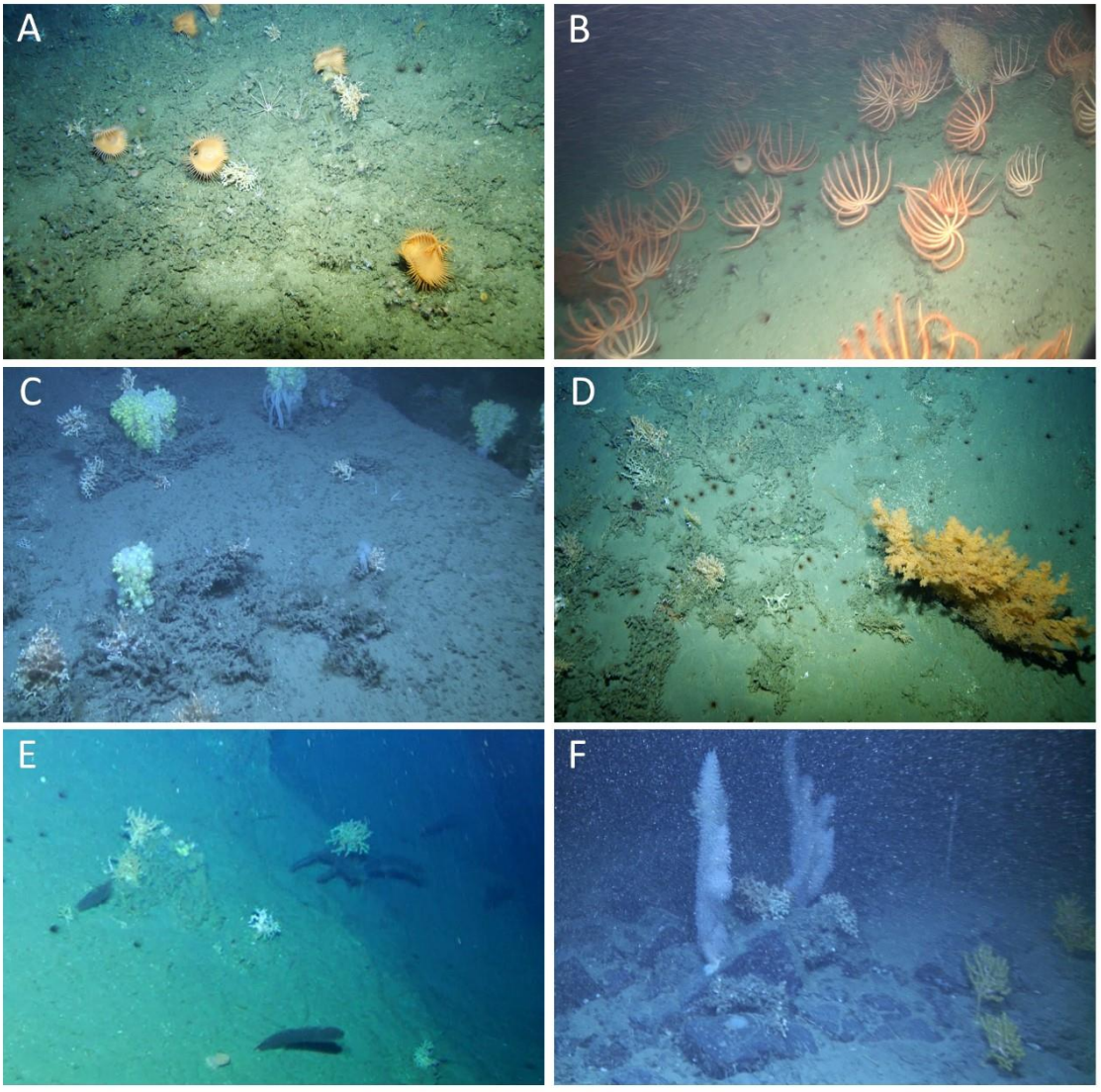


Figura 59. Fotografías representativas de los principales hábitats encuadrados en los arrecifes de corales de aguas profundas: arrecife de coral con *Phelliactis hertwigi* (las anemonas se fijan sobre el coral muerto compactado) (A), arrecife de coral con estrellas brisíngidas (en zonas con mucho aporte sedimentario sobre el coral del cañón de Avilés) (B), arrecife de coral con *Aphrocallistes beatrix* (C), arrecife de coral con *Leiopathes* y *Acanthogorgia* (D), arrecife de coral con *Parantipathes* (E) y roca batial colmatada de sedimentos con *Acanthogorgia* y *Touarella* (F).

Para que estos modelos funcionen correctamente, es fundamental la obtención de las capas sobre el fondo marino que se derivan de los estudios geológicos, que ya han sido descritas en los capítulos 3 y 4 y en el apartado anterior. A partir de los datos batimétricos adquiridos con ecosonda multihaz, se calculó una capa continua de profundidad para toda el área de estudio a la máxima resolución posible. Posteriormente, se extrajeron de esta capa un conjunto de derivadas batimétricas (Figura 60):

pendiente en grados, índice de posición batimétrica (BPI) de escala gruesa y fina y aspecto (vector bidimensional que representa la orientación que enfrenta una pendiente en 0 a 360° desde el norte), etc. La pendiente y el aspecto son factores condicionantes debido a la influencia que tienen tanto en el transporte de sedimentos como en la exposición a las corrientes dominantes que controlan la distribución de los hábitats (Rodríguez-Basalo, 2021). En cuanto al BPI, la posición relativa de un área con respecto a su zona circundante se reveló previamente como decisiva en estudios de los hábitats bentónicos tanto de resolución gruesa como fina (Sánchez et al., 2017).

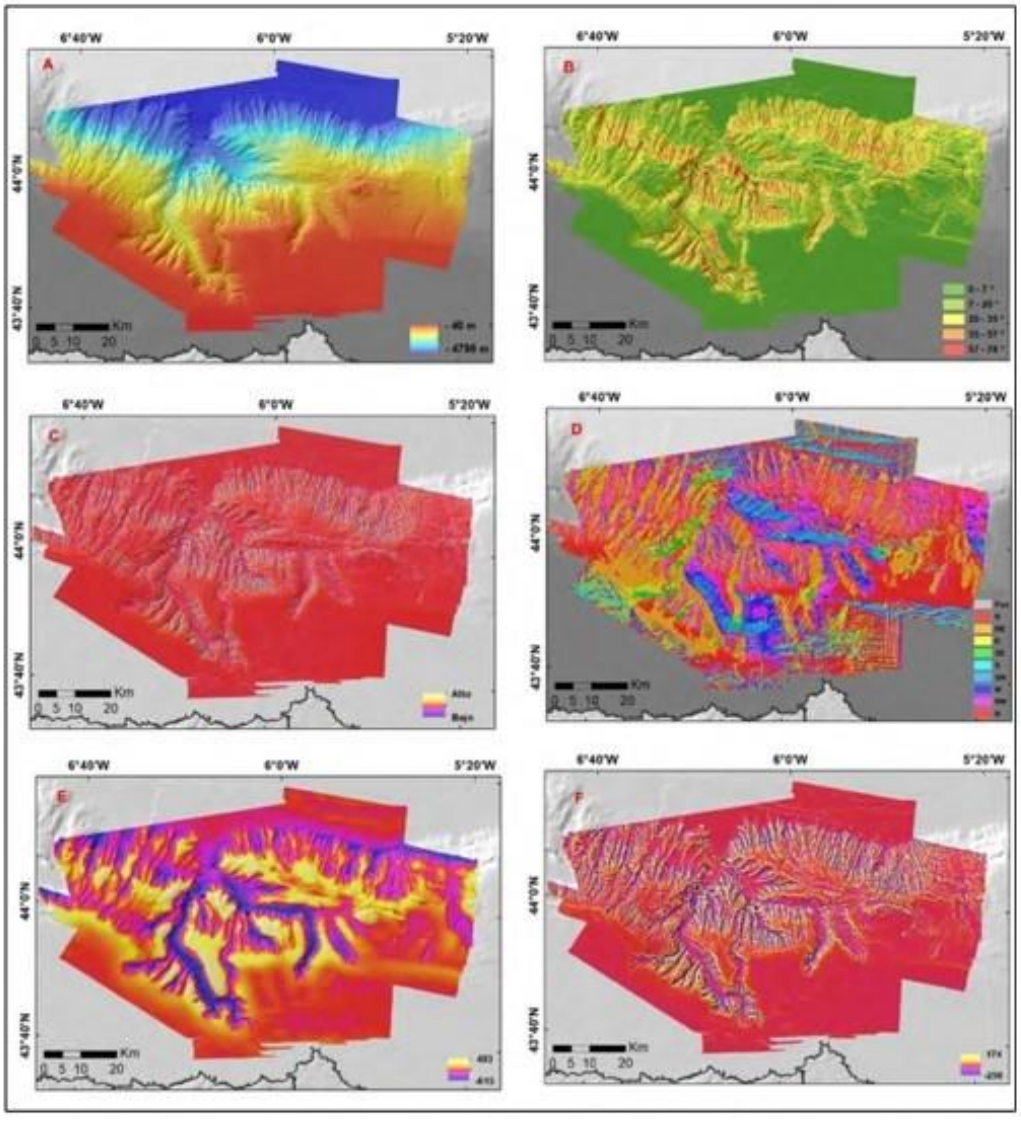


Figura 60. Batimetría y mapas derivados del sistema de cañones de Avilés. Resolución espacial de 50 m: batimetría (A), pendientes (B), curvatura (C), Orientación (D), BPI grueso (E) y BPI fino (F).

La capa de reflectividad obtenida (Figura 61A) a partir de los datos de ecosonda multihaz es una importante fuente de información en relación a la dureza del fondo que se traduce en tipos de fondo o sustratos, tras combinarla con los datos del análisis de muestras de sedimento (Figura 61C) y el análisis de imágenes de vídeo para verificación del tipo de fondo. De este modo, se calibran los valores de reflectividad, convirtiéndolos en una capa clasificada en diferentes categorías de tipos de fondo (Figura 61B), esencial para el asentamiento de las diferentes especies que estructuran el componente biológico de los hábitats.

Toda la información de estas capas es integrada con la obtenida a partir de los perfiles sísmicos de alta resolución TOPAS, las muestras de sedimento y el reconocimiento de los tipos de fondo a partir de los vídeos, en el mapa morfosedimentario o geomorfológico (Figura 62).

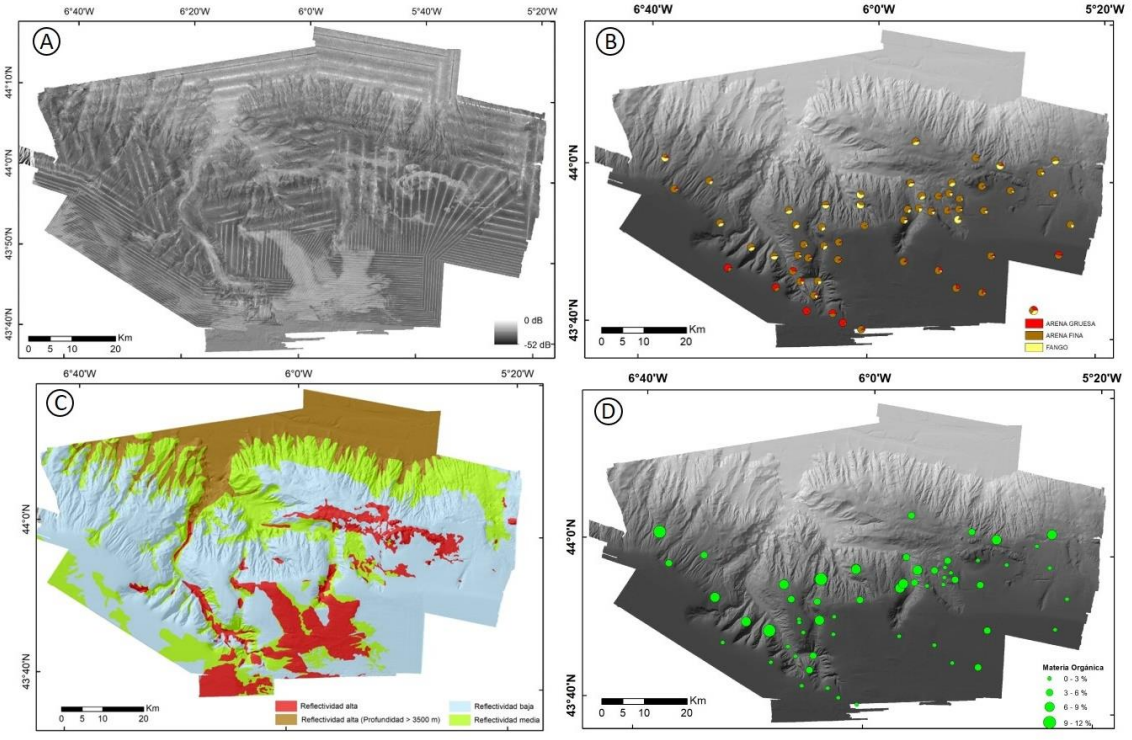


Figura 61. A) Mapa de reflectividad del sistema de cañones de Avilés, con una resolución de 10 m. B) Distribución espacial de las muestras de sedimento, donde se muestran los porcentajes en arena gruesa, arena fina y fango. C) Mapa de intensidad de reflectividad que muestran los distintos tipos de fondo. D) Distribución espacial del contenido de materia orgánica de las muestras. Todas las muestras fueron adquiridas en el marco del proyecto INDEMARES.

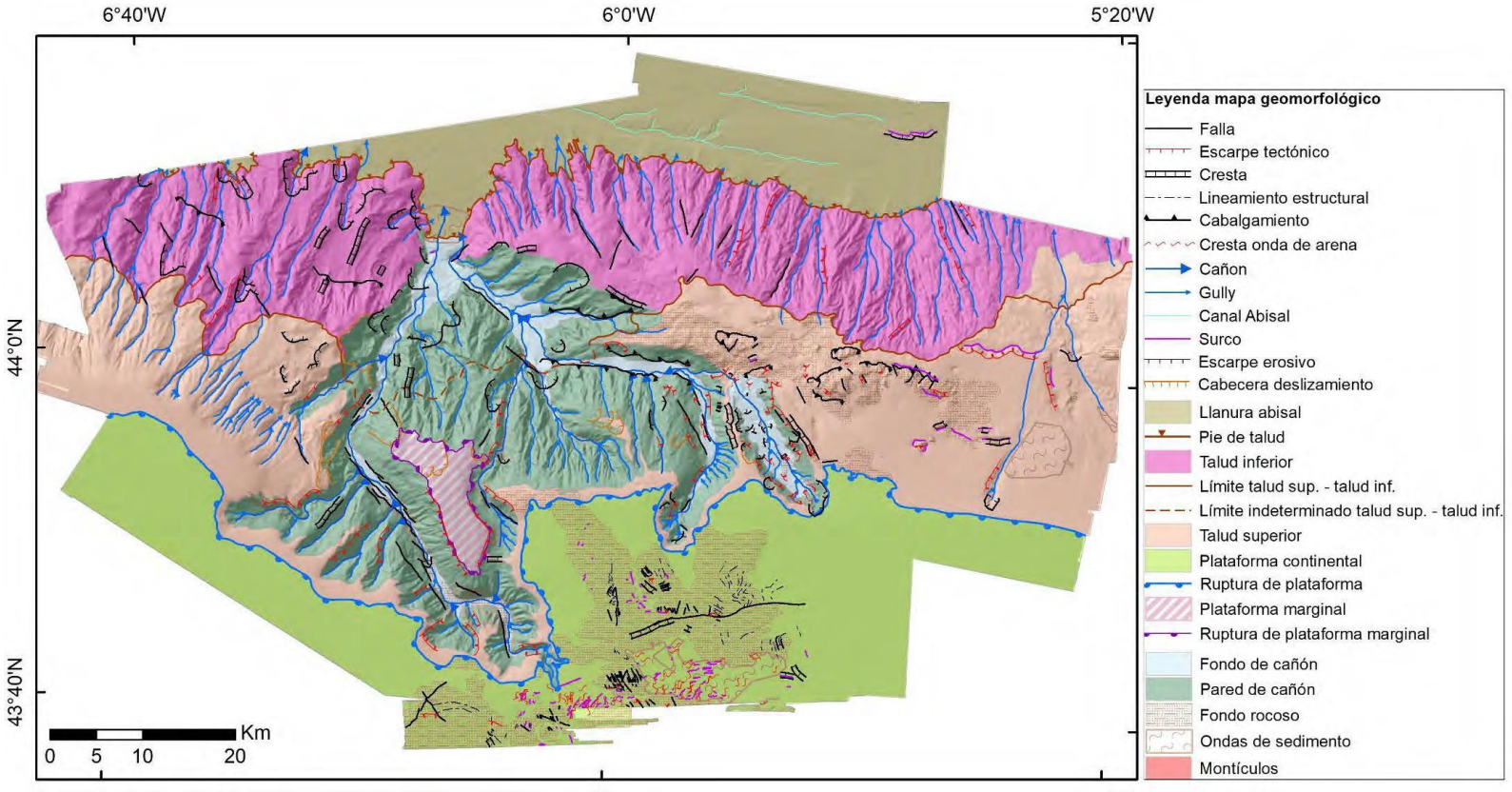


Figura 62. Este mapa geomorfológico presenta un mayor detalle y resolución que el elaborado en 2014 (Gómez-Ballesteros et al., 2014), gracias al desarrollo tecnológico implementado en las últimas versiones del *software* de procesado Caris HIPS and SIPS (11.3), que ha permitido reprocesar la información obtenida con ecosondas multihaz y obtener mejores resultados.

El mapa geomorfológico está georreferenciado y cada uno de sus morfotipos tiene asignada una topología única que permite incluirlo en el modelado de manera independiente de acuerdo a sus características morfológicas, por ejemplo, como escarpe, canal, afloramiento, depresión, etc. Para los modelos predictivos de la zona del LIC SCA se ha realizado una clasificación agrupada en 9 regiones geomorfológicas (Figura 63) para no introducir demasiadas variables ambientales. Por último, mediante la integración de las diferentes capas de información, a la que se suma la componente biológica a partir de la distribución puntual de especies identificadas, se obtienen los mapas detallados de la modelización sobre la distribución de los hábitats más relevantes, con especial dedicación a aquellos que se encuentran descritos en las directivas de protección europeas, en el caso de que el objetivo del estudio sea la creación de medidas de gestión (Rodríguez-Basalo et al., 2022).

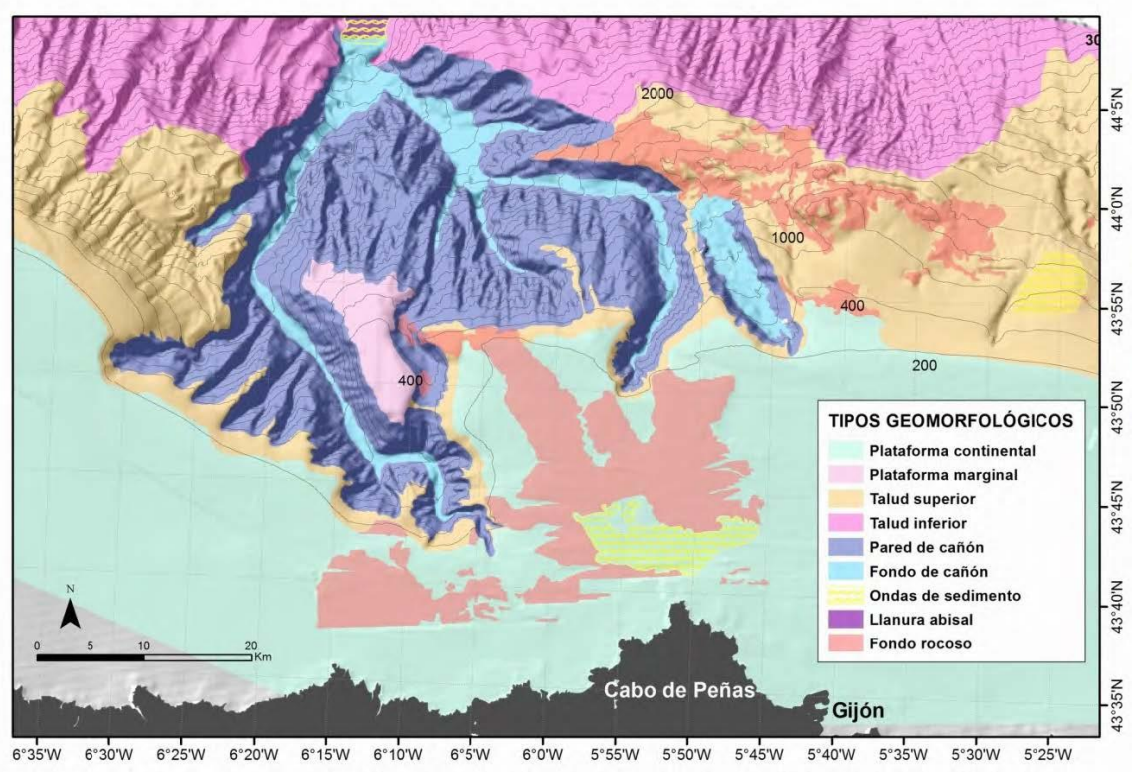


Figura 63. Principales regiones geomorfológicas que han sido utilizadas como variables ambientales en el estudio de la distribución espacial de los hábitats.

En base a la caracterización del fondo marino realizada en la presente tesis, se han clasificado los tipos de hábitat del SCA en función del sustrato, y los expertos en modelado de hábitats han desarrollado un modelo predictivo para cada tipo de fondo. Estos trabajos (Módica et al., 2022 y Rodríguez-Basalo et al., 2022), realizados con-

juntamente por la autora de la presente tesis en lo que respecta a las capas geológicas, y a otros autores en lo referente al desarrollo de los modelos predictivos, se describen brevemente a continuación, como ejemplos para explicar la contribución e importancia de las capas obtenidas de los estudios geológicos en estos dos modelos: uno para los fondos sedimentarios y otro para los fondos rocosos, ambos mediante la aproximación *assemble first, predict later*.

APLICACIÓN DE LA GEOLOGÍA EN EL MODELADO PREDICTIVO DE FONDOS SEDIMENTARIOS EN EL SISTEMA DE CAÑONES SUBMARINOS DE AVILÉS

Para el estudio de las comunidades epibentónicas, aquellas que viven sobre el sustrato de los fondos blandos o sedimentarios, llevado a cabo por Modica et al. (2022), se emplearon los datos de variables abióticas obtenidos a partir de los estudios geológicos presentados en los capítulos y apartados anteriores, valores de diferentes parámetros sedimentarios y físico-químicos, y los datos de biomasa faunística, aplicándose varios enfoques analíticos para un número total de 116 especies identificadas. Las comunidades epibentónicas se analizaron mediante análisis de agrupamiento jerárquico, análisis de porcentaje de similitud (SIMPER) y análisis de correspondencia canónica (CCA).

En primer lugar, se aplicó un análisis de agrupamiento jerárquico (Figura 64) para la caracterización abiótica basado en las variables derivadas de la batimetría (profundidad, pendiente, rugosidad, BPI grueso), características de los sedimentos como mediana del tamaño de grano del sedimento (Q50 phi), coeficiente de selección So (la expresión de la distancia intercuartil del tamaño de los granos de la muestra y las principales categorías geomorfológicas según la interpretación espacial de los estudios de geología) y porcentaje de contenido en materia orgánica (MO), además de una variable categórica para el tipo de fondo de sedimento que se categorizó en cinco clases: arenas gruesas (CS), arenas medias (MS), arenas medias y finas (MFS), arenas finas (FS) y arenas muy finas y lodos (VFSM).

Adicionalmente, se asociaron las variables físico-químicas de temperatura y salinidad del fondo obtenidas para cada estación de muestro relizada con lance. De este modo se identificaron seis grupos según la profundidad y composición de especies o conjuntos faunísticos: plataforma media (~100-200 m), plataforma externa (~150-300 m), ruptura de plataforma (~300-400 m), talud superior (~500-700 m), talud intermedio (~700-1100 m), y talud inferior (1200-1500 m).

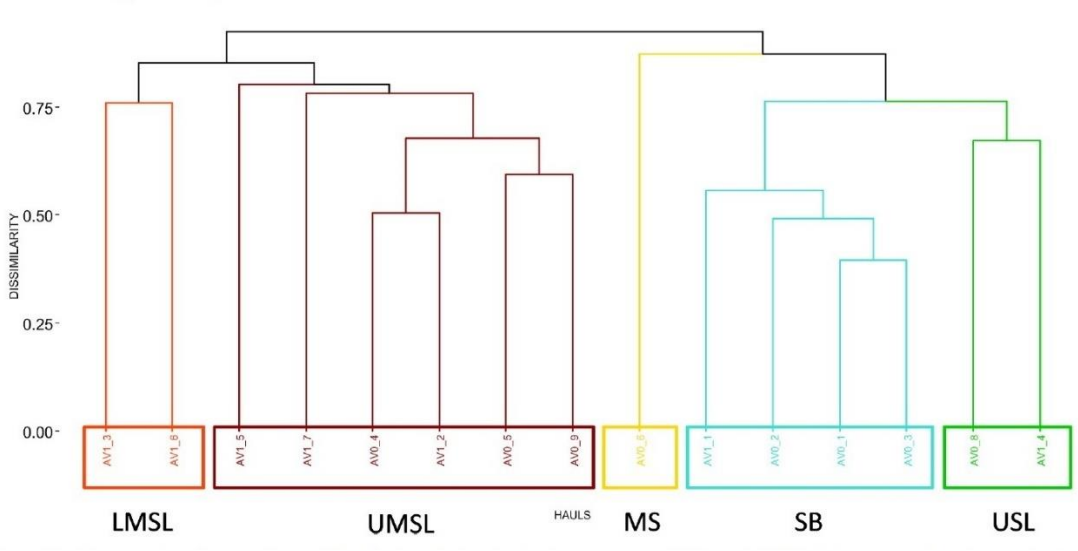


Figura 64. Grupo jerárquico de agrupamientos bentónicos. Las etiquetas indican lances codificados con encuesta, año 0: 2010 y 1: 2011. La parte después del guion bajo indica el número de muestra. Los grupos fueron identificados por profundidad. Plataforma media (MS ~200 m), ruptura de plataforma (SB ~300-400 m), talud superior (USL ~500-600 m), talud medio superior (UMSL ~600-1100 m), y talud medio inferior (LMSL ~1200-1500 m). (Modica et al., 2022).

Posteriormente, se desarrolló un análisis SIMPER (Clarke & Warwick, 1994) para determinar la estructura de las comunidades faunísticas observadas en cada grupo. Este análisis, que utilizó valores de biomasa para explorar los grupos que desempeñan un papel importante en el funcionamiento del ecosistema y los flujos de energía en el SCA, reveló la estructura de los conjuntos faunísticos dentro de cada grupo.

Para finalizar, se llevó a cabo un análisis CCA (Legendre & Gallagher, 2001) para identificar las principales variables ambientales que influyen en las comunidades faunísticas (Figura 65). Los resultados obtenidos (Tabla 12) mostraron que los factores ambientales que influyen en las comunidades epibentónicas del SCA son la profundidad, el índice de posición batimétrica (BPI) a gran escala, la salinidad cercana al fondo, el tipo de sedimento y las variables relacionadas con la dinámica oceánica, siendo estos los más significativos para explicar la relación especie-ambiente.

En general, los resultados del estudio proporcionaron un inventario completo de las comunidades epibentónicas en el SCA, destacando la importancia de la profundidad y otros factores ambientales en la configuración de estas comunidades, por lo que confirma la importancia de la caracterización geológica a la hora de realizar modelos predictivos de hábitats de fondos sedimentarios en los que su biotopo es fuertemente condicionante.

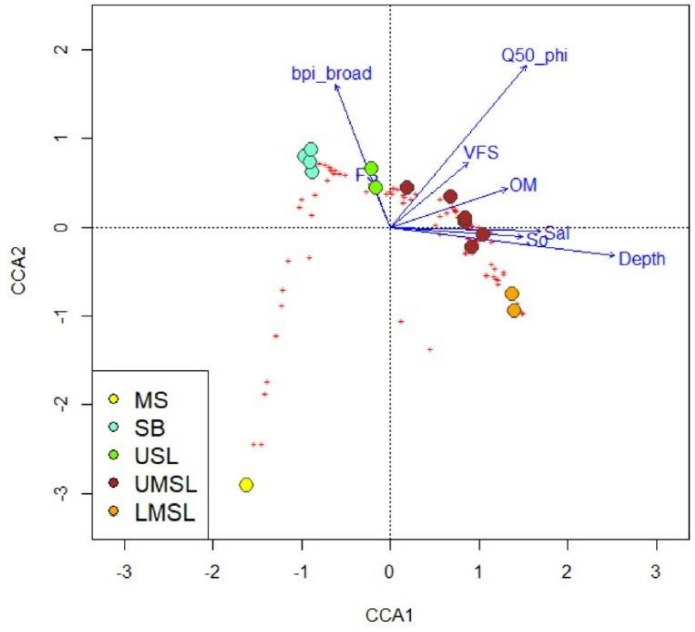


Figura 65. Análisis canónico de correspondencias (CCA) para las comunidades bentónicas (muestreo AV realizado con beam trawl). La ordenación de los lances y las variables ambientales utilizadas fueron la profundidad (Depth), el BPI grueso (bpi_broad), la salinidad (Sal), el contenido en materia orgánica (OM), mediana del tamaño de grano (Q50_phi) y el coeficiente de clasificación (So) expresado como distancia intercuartílica de la distribución granulométrica. La variable categórica tipo de fondo se definió com arenas finas (FS) y arenas muy finas (VFS). Los conjuntos de estaciones de muestreo se indican con puntos de colores: amarillo (US: plataforma superior), turquesa (SB: ruptura de plataforma), verde (USL: talud superior), marrón (UMSL: talud medio superior), o naranja: (LMSL: talud medio inferior). (Modica et al., 2022).

Tabla 12. Resultados del análisis CCA para determinar variables ambientales significativas para la comunidad epibentónica (muestreos de *beam trawl*). CCA1: Contribución de las variables ambientales para el primer eje restringido. CCA2: Contribución de las variables ambientales para el segundo eje restringido. r^2: correlación entre las variables ambientales y el sistema de ordenación seleccionado por CCA. Pr (>r): valor p para cada variable con la distribución global de las especies. Códigos de significación: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 '' 1. (Modica et al., 2022).

Environmental variable	CCA1	CCA2	r^2	Pr (>r)	Significance level
Depth	0.9922	−0.1245	0.9633	0.001	***
bpi_broad	−0.3578	0.9337	0.4416	0.040	*
Sal	0.9996	−0.0280	0.4309	0.083	.
OM	0.9501	0.3118	0.2845	0.188	
Q50_phi	0.6443	0.7647	0.8424	0.001	***
So	0.9973	−0.0733	0.3331	0.126	
VFS	0.7687	0.6395	0.1939	0.303	
FS	−0.3884	0.9214	0.0414	0.962	
CS	−0.4875	−0.8730	0.9666	0.062	.

APLICACIÓN DE LA GEOLOGÍA EN EL MODELADO PREDICTIVO DE FONDOS ROCOSOS EN EL SISTEMA DE CAÑONES DE AVILÉS

Para el estudio de las comunidades bentónicas de los fondos rocosos llevado a cabo por Rodríguez-Basalo et al. (2022), se emplearon, al igual que en el caso anterior, datos de variables abióticas obtenidos a partir de los estudios geológicos presentados en el Capítulo 3, y datos de abundancia y presencia obtenidos a partir de observaciones de transectos de vídeo mediante técnicas de fotogrametría (Sánchez et al., 2009) para un total de 370 muestras y dragas de roca (Tabla 1). El estudio se centró en analizar los factores abióticos que influyen en la distribución de las comunidades bentónicas en el área de estudio del SCA en la plataforma circalitoral rocosa. Estas variables están directamente relacionadas con la composición y morfología del lecho marino y se utilizaron para caracterizar los diferentes hábitats y comunidades. La caracterización abiótica se realizó a través del agrupamiento no jerárquico *k-means*, y las comunidades bentónicas se analizaron mediante análisis de agrupamiento jerárquico, análisis SIMPER y análisis CCA.

La caracterización abiótica parte de las variables abióticas profundidad, reflectividad, BPI, rugosidad y pendiente. Como el estudio solo se refirió a los hábitats y comunidades que viven en sustratos duros, para obtener el área ocupada por roca, roca con sedimentos y roca con bloques de piedra suelta, y excluir aquella donde no aparece la roca, se seleccionó el valor de reflectividad más bajo, correspondiente a sustratos duros y bloques, para poder hacer una delimitación de los fondos rocosos en los que se aplicará después el modelo de hábitats. De este modo, ya en la primera fase del modelado, es necesario disponer de una información detallada de los tipos de sustrato para seleccionar las áreas a modelizar, y posteriormente se verificó mediante la comprobación *in situ* a partir de las imágenes del fondo obtenidas en las campañas.

El BPI, que en otros estudios reveló ser una de las capas más importantes en los modelos de distribución espacial en el mar Cantábrico (Sánchez et al., 2017), no fue significativo en este caso concreto de la plataforma circalitoral del SCA. En algunos estudios locales se ha utilizado con dos resoluciones diferentes para resaltar, por un lado, las grandes estructuras geomorfológicas de cañones y montes submarinos con un BPI amplio y, por otro, accidentes estructurales de menor escala con un BPI fino (García-Alegre et al., 2014; Sánchez et al., 2014b).

Sin embargo, al tratarse en este caso de un área de estudio muy uniforme donde los afloramientos tienen características muy similares en toda el área, fue necesario seleccionar BPI a diferentes resoluciones (30 m, 200 m y 500 m de radio) para obtener

diferentes perfiles que contrastar con las observaciones de los muestreos, para verificar cuál de ellos se ajustaba mejor a los tipos de suelo y distribución de sedimentos del terreno en cada caso.

Los diferentes grupos obtenidos del agrupamiento abiótico quedan recogidos en la Figura 66: grupo A, correspondiente a áreas de bloques y sedimentos con bajo BPI y alta reflectividad; grupo B, que representa al batial o áreas profundas de cantos rodados y sedimentos y pendientes pronunciadas; grupo C para áreas de bajo BPI de alta cobertura sedimentaria y baja reflectividad; grupo D, en áreas planas de sustrato duro con alta cobertura sedimentaria; y finalmente el grupo E, que muestra la parte superior de los afloramientos, alto BPI, áreas de roca viva con bloques y sedimentos.

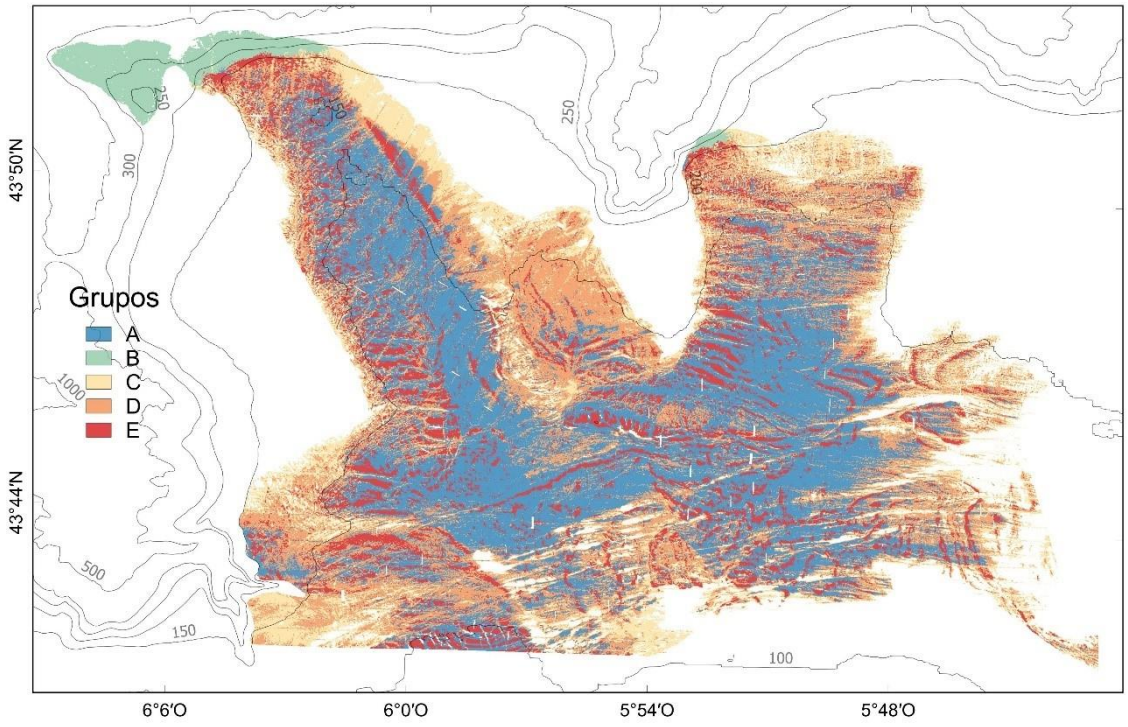


Figura 66. Distribución de los distintos grupos del clúster según la técnica de clasificación no supervisada *k-means*. Grupo A (azul): circalitoral con bloques sueltos y sedimento; grupo B (verde): batial con bloques sueltos y sedimento; grupo C (naranja claro): circalitoral con sedimento; grupo D (naranja): circalitoral rocoso con alta cobertura sedimentaria; y grupo E (rojo): roca viva circalitoral. (Rodríguez-Basalo et al., 2022).

Para el estudio de las comunidades bentónicas, se aplicó un análisis de agrupamiento jerárquico utilizando en este caso el índice de similitud de Bray-Curtis y el algoritmo basado en la media para el cálculo de distancias. Esto resultó en una división de cinco grupos (Figura 67), mostrando una distribución desagregada de las estaciones según las diferentes variables abióticas.

Posteriormente, se desarrolló un análisis SIMPER para seleccionar las especies más abundantes en cada clase identificada a partir del análisis abiótico y que, por tanto, más contribuyen a la diferencia entre grupos. Los resultados resaltaron la importancia de ciertas especies clave para diferenciar entre los grupos de comunidades bentónicas, sugiriendo su importancia ecológica en la configuración de la estructura comunitaria en el área de estudio (Sánchez et al., 2017).

Finalmente, para comprobar las principales variables ambientales responsables de las diferentes agrupaciones de las comunidades faunísticas, se llevó a cabo un análisis CCA (Figura 67). Los resultados mostraron qué capas de variables ambientales tuvieron una influencia significativa en la distribución de las comunidades bentónicas en el área de estudio. En concreto, la profundidad, la pendiente, la reflectividad y el BPI fueron las variables más importantes para explicar los patrones de distribución de las comunidades (Tabla 13).

Tabla 13. Contribución de la desvianza de los predictores a los modelos de presencia/ausencia y densidad de ambas zonas y desvianza total explicada por los modelos completos. La ausencia de datos significa que la variable no ha sido seleccionada para el modelo completo. (Rodríguez-Basalo et al., 2022).

	Circalittoral				Bathial			
	Pres/Abs		Densities (N/m²)		Pres/Abs		Densities (N/m²)	
	Dev (%)	p-value	Dev (%)	p-value	Dev (%)	p-value	Dev (%)	p-value
Depth	20	**	14.5	***	11.8	.	4.1	**
Slope	3.3	*						
BPI			0.2	>0.1	4.6	***	3.1	***
North	4.4	***	7.4	***	1	*		
East	0.6	>0.1	5.4	**	0.3	>0.1	11.2	***
Curv					2	*	0.9	*
Backscatter	4.1	**						
Full Model	72		37.3		41.6		55.3	

En general, los resultados proporcionaron un inventario completo de las comunidades bentónicas en la zona circalitoral rocosa en la plataforma del SCA, destacando la importancia de la profundidad y la pendiente como las variables principales que influyen en la configuración de la composición, abundancia y distribución de las comunidades bentónicas en esta zona de estudio. Estos resultados sugieren que la profundidad y la pendiente del fondo marino juegan un papel crucial en la composición y abundancia de las comunidades bentónicas en la zona circalitoral. Además, también se encontró que la reflectividad y el BPI eran variables significativas en la

distribución de las comunidades bentónicas, como ya habían revelado estudios previos (Sánchez et al., 2017), lo que indica que el hábitat se ve favorecido por la presencia de fondos duros, es decir, está íntimamente ligado a los fondos duros.

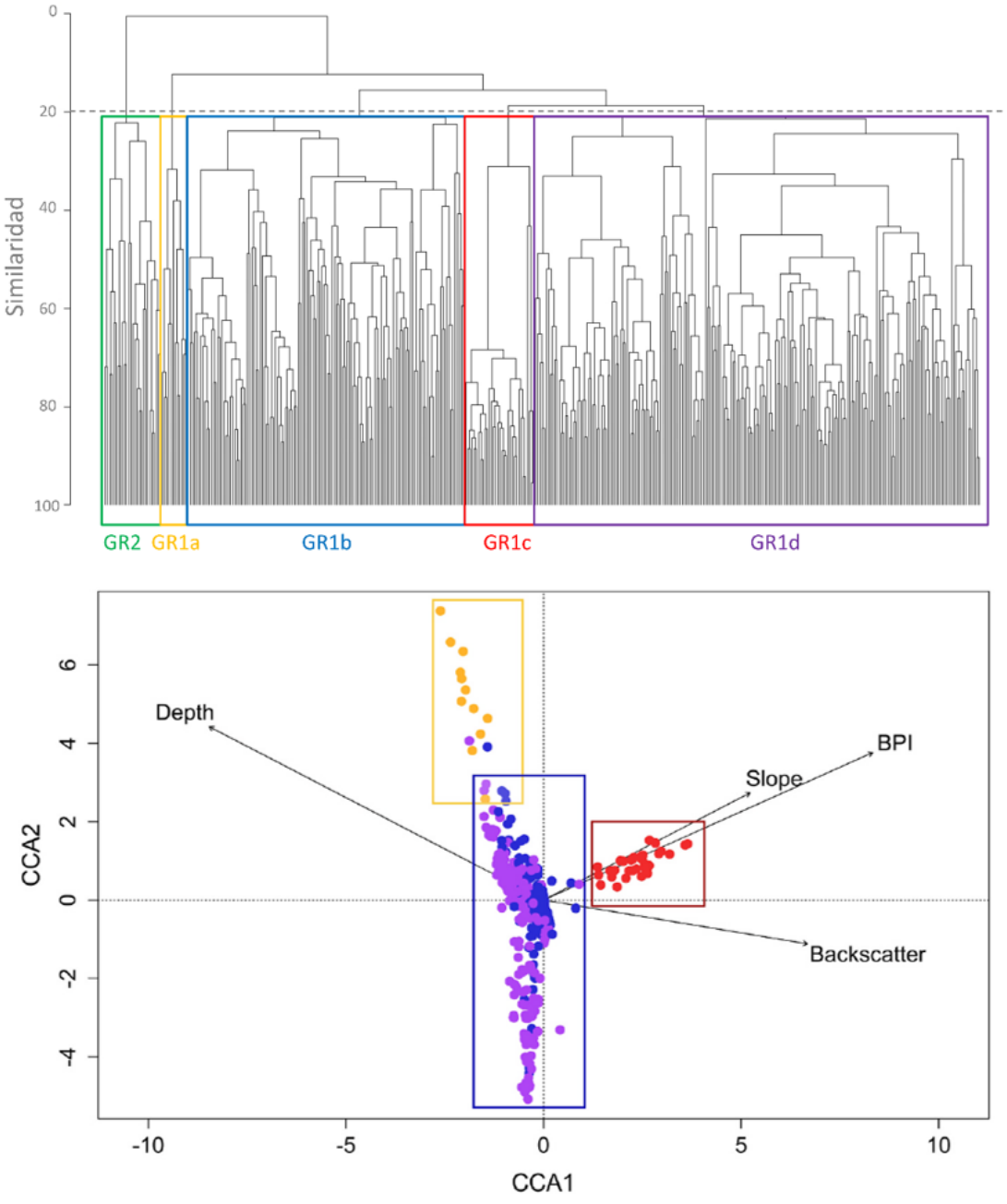


Figura 67. Dendrograma que representa la agrupación jerárquica de las estaciones según la densidad de especies formadoras de hábitats, y distribución de las muestras de acuerdo con las variables ambientales seleccionadas para el análisis canónico de correspondencias (CCA, figura inferior). (Rodríguez-Basalo et al., 2022)

Finalmente, a partir de la integración de los resultados obtenidos sobre la caracterización de la geomorfología del fondo marino y los modelos de distribución de hábitats, procedentes de las diferentes aproximaciones, se concluyó con un mapa de distribución espacial de todos los principales hábitats identificados en el LIC SCA, (Figura 68) incluyendo los hábitats sedimentarios (Figura 57) y rocosos (Figura 58 yFigura 59) tanto circalitorales como batiales.

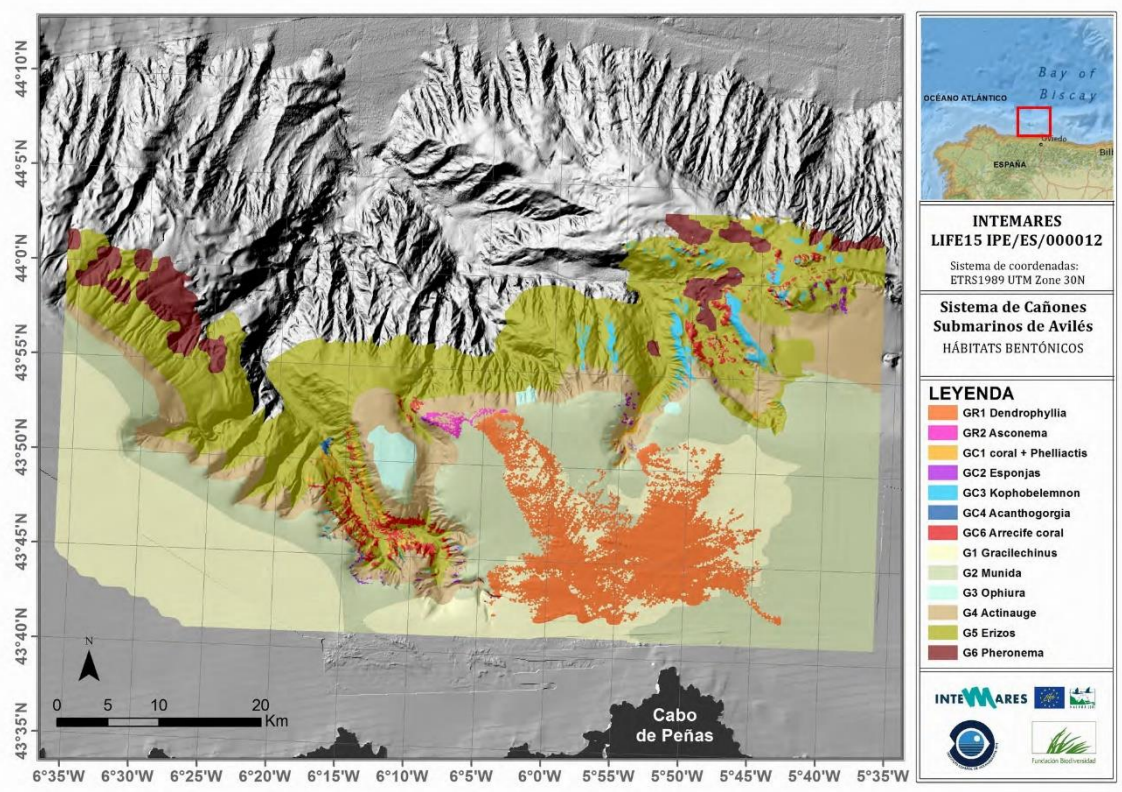


Figura 68. Distribución espacial de los principales hábitats identificados en el SCA (Sánchez et al., 2022).

Tal y como se ha descrito en los apartados anteriores y presentado en este ejemplo para el SCA, se realizaron las pasarelas correspondientes a las diferentes clasificaciones. Los hábitats identificados en el SCA y su correspondencia con las principales clasificaciones de hábitats bentónicos europeos se muestran en la Tabla 14 y la Figura 69 con los mapas correspondientes (Sánchez et al., 2022), incluyendo especialmente los definidos en el Anexo I de la DH, que son aquellos que se requieren para la declaración de espacios protegidos, y en concreto en el SCA es el hábitat 1170.

Tabla 14. Pasarelas entre los hábitats bentónicos de interés comunitario identificados en el LIC SCA y las principales clasificaciones europeas.

Hábitat bentónico identificado en el SCA	Clasificación EUNIS	Directiva Hábitat (ANEXO I)	Lista de OSPAR	Inventario español de hábitats marinos LPRE
G6: Fangos batiales con *Pheronema carpenteri*	A6.621 Facies with *Pheronema grayi*	Hábitat 1170	Deep-sea sponge aggregations	0402020403 Fangos batiales con *Pheronema carpenteri*
GR1: Roca circalitoral con *Dendrophyllia cornigera* y *Phakellia ventilabrum*	A4.121 (*Phakellia ventilabrum*) and axinellid sponges on deep, wave-exposed circalitoral rock	Hábitat 1170	Coral gardens	03020218 Roca circalitoral dominada por *Dendrophyllia cornigera*
GR2: Roca batial con *Asconema setubalense*	A6.62 Deep-sea sponge aggregations	Hábitat 1170	Deep-sea sponge aggregations	04010106 Roca limpia batial con grandes esponjas hexactinélidas (*Asconema setubalense*)
GC2: Fondos rocosos profundos con agregaciones de esponjas	A6.62 Deep-sea sponge aggregations	Hábitat 1170	Deep-sea sponge aggregations	04010103 Fondos rocosos profundos con agregaciones de esponjas
GC3: Fangos batiales con dominancia de *Kophobelemnon stelliferum*	A6.5 Deep-sea mud	No correspon-dencia	Sea-pen and burrowing megafauna communities	04020204 Fangos batiales con dominancia de *Kophobelemnon stelliferum*
GC1: Arrecife de coral con *Phelliactis*	A6.61 Communities of deep-sea corals	Hábitat 1170	*Lophelia pertusa* reef	04030301 Arrecifes de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata*
GC4: Roca batial colmatada de sedimentos con *Acanthogorgia* y *Thouarella*	A6.61 Communities of deep-sea corals	Hábitat 1170	Coral gardens	040102 Roca batial colmatada de sedimentos
GC6: Arrecife de corales profundos de *L. pertusa* y/o *M. oculata*	A6.61 Communities of deep-sea corals	Hábitat 1170	*Lophelia pertusa* reef	04030301 Arrecifes de corales profundos de *Lophelia pertusa* y/o *Madrepora oculata*

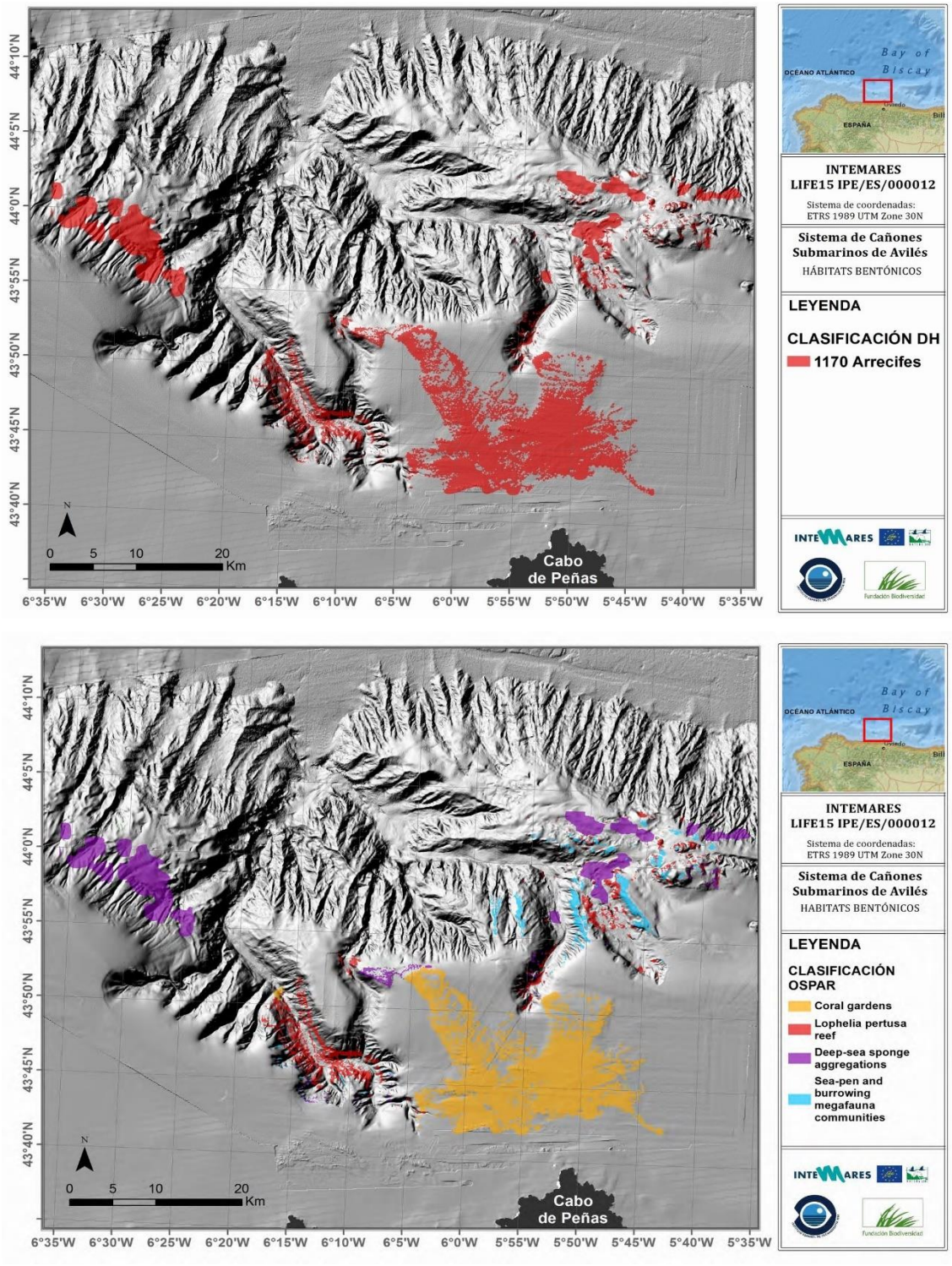


Figura 69. El mapa superior muestra la distribución del Hábitat 1170 Arrecifes de la clasificación del Anexo de lal Directiva Hábitats en el sistema de cañones de Avilés. El mapa inferior muestra la distribución de los hábitats bentónicos de la clasificación OSPAR en la misma área (Sánchez et al., 2022).

5.5. Aplicación de la cartografía geológica en la ordenación espacial marina

La distribución cartográfica de los hábitats obtenida con los métodos de modelización descritos anteriormente, basados en las características geológicas y biológicas, es información científica esencial para la protección y conservación de los espacios marinos protegidos, y a partir de la cual se calculan la representatividad y la superficie de ocupación de los hábitats.

Las potenciales distribuciones de los tipos de hábitats, junto con el análisis de riesgos de las actividades humanas, permite proponer una zonificación de protección del hábitat de interés básica en la ordenación espacial marítima (OEM). En el SCA, actualmente declarado como LIC, se ha estimado que existen un total de 40000 hectáreas de hábitats que reúnen los requisitos de vulnerabilidad exigidos en estas normativas, en concreto el Hábitat 1170 Arrecifes (Sánchez et al., 2022). Esto demuestra que los estudios geológicos son necesarios para diseñar una red coherente de áreas o espacios marinos protegidos (en España, la RAMPE), identificando información de singularidad (relieves singulares como cañones, *seamount*, *pockmarks*…), conectividad (mecanismos de transporte, barreras de fragmentación…), representatividad de un área, etc., que son criterios clave de selección de un Área Marina Protegida.

La distribución espacial de los hábitats vulnerables es esencial para la toma de decisiones en el proceso de definir los espacios como lugar de importancia comunitaria (LIC) y establecer medidas de gestión que garanticen la conservación de los hábitats y/o especies vulnerables bajo la declaración de Zona de Especial Conservación (ZEC). Actualmente, en el SCA se está desarrollando su plan de gestión y el SCCB se encuentra en fase de declaración como LIC a partir de todos los datos científicos presentados.

Estas medidas, que pretenden asegurar una protección adecuada para las especies y hábitats vulnerables, implicarían posiblemente algunas restricciones para aquellas actividades humanas que supongan una amenaza para ellos, como puede ser la pesca (Rodríguez-Basalo et al., 2019) y podría provocar conflictos entre economía y conservación. Sin embargo, está demostrado que una correcta ordenación del espacio y la adopción de medidas para garantizar el uso sostenible de los recursos repercute en un beneficio para los usuarios, ya que incrementan la necesaria calidad ambiental para mantener los procesos ecológicos y productivos (Sánchez et al., 2014b).

El establecimiento de espacios protegidos es una herramienta útil para lograr esta adecuada PEM que permita lograr o mantener un BEA de los mares y océanos. Por tanto, dicha ordenación espacial es lo que permite definir los usos y actuaciones más acordes con las características de cada zona. En el caso de los espacios protegidos RN2000, las medidas deberán estar enfocadas hacia la conservación y, en su caso, la recuperación y restauración de la biodiversidad y los procesos ecológicos de la zona, permitiendo el aprovechamiento de los recursos de una manera sostenible ambiental y socialmente. Por ello, en el proceso de OEM en España, los planes incorporarán las medidas contenidas en el plan de gestión de un espacio protegido RN2000, lo que permite que se controlen, e incluso se fomenten en la medida de lo posible, los usos y aprovechamientos de los recursos que tradicionalmente se realizan en el lugar y, al mismo tiempo, van a asegurar que estos se llevan a cabo de modo sostenible y son compatibles con la protección del espacio.

Una gestión adecuada de estos espacios tiene que encontrar el equilibrio entre el mantenimiento o la mejora del estado de conservación de los lugares y la utilización sostenible de los recursos. Para lograrlo, es necesario mantener un diálogo constante entre todos los usuarios de los espacios, por lo que la participación activa de todas las partes implicadas es fundamental en el proceso de creación del plan de gestión. Este proceso va a suponer un extraordinario ejercicio de planificación espacial en un ecosistema con elevados valores, tanto ambientales como socioeconómicos, para llegar a soluciones consensuadas y salvaguardar de forma adecuada la riqueza biológica de estas zonas y del medio marino en general. El conocimiento local es una importante fuente de información que debe ser integrada y ayudar a complementar el conocimiento científico. Además, el apoyo de las comunidades locales involucradas en el proceso puede facilitar la aceptación social y una gobernanza exitosa de los servicios ecosistémicos disponibles derivados del medio ambiente marino, al igual que apoyar planes de conservación y gestión a largo plazo (Harris & Baker, 2012), como se verá en los próximos capítulos.

Todo ello hará posible que el conjunto del ecosistema siga manteniendo el equilibrio necesario en sus procesos funcionales, con los beneficios que de ello se derivan para todos.

Los datos obtenidos en los estudios presentados en esta tesis están contribuyendo a una mejor comprensión de los hábitats regionales y su funcionamiento. Los mapas de hábitats bentónicos desarrollados a partir de estos resultados, pueden ser utilizados para definir y evaluar los servicios ecosistémicos (Galparsoro et al., 2014; Salomidi et al., 2012) y están siendo empleados en el diseño de los POEM (http://

www.infomar.miteco.es/visor.html) para definir las áreas de protección de la conservación, desarrollando así una PEM basada en ecosistemas (Buhl-Mortensen et al., 2017). La PEM requiere que todos los aspectos de valor asociados con la biodiversidad marina se incorporen en el proceso de la toma de decisiones (Rees et al., 2010), lo que se denomina gestión espacial marina basada en ecosistemas (Katsanevakis et al., 2011). Para ello, un objetivo clave es mantener la prestación de servicios ecosistémicos, que a su vez deben basarse en principios ecológicos que articulen los atributos científicamente reconocidos de ecosistemas que funcionan de manera saludable (Foley et al., 2010).

Por lo tanto, es fundamental comprender la heterogeneidad de las comunidades biológicas y sus componentes clave y los procesos clave que las mantienen, así como los usos humanos (Crowder & Norse, 2008). El desarrollo y la implementación exitosa de una PEM basada en la gestión ecosistémica requieren el uso de la mejor ciencia disponible. Como afirman Katsanevakis et al. (2011), nuevas herramientas, como, por ejemplo, el análisis geoespacial, la teledetección y cartografía con técnicas acústicas como las ecosondas multihaz, han ampliado la comprensión de los vínculos entre los hábitats marinos y la dinámica de poblaciones, y entre la dinámica espacio-temporal y el funcionamiento de los ecosistemas marinos (Crowder & Norse, 2008). Por lo tanto, los modelos de distribución juegan y seguirán jugando un papel clave en la PEM y en la gestión ecosistémica (Bayles et al., 2016).

El conocimiento científico obtenido a partir de los datos geológicos del fondo marino y la distribución de sus hábitats podría aplicarse de diferentes maneras en el proceso de PEM, ya que los datos se pueden utilizar también para cartografiar la potencial distribución de recursos biológicos (Wilson et al ., 2007; Galparsoro et al., 2009), el modelado y evaluación del hábitat de peces, especies de especial interés para la conservación, como las gorgonias o esponjas (Bryan & Metaxas, 2007; Di Pane et al., 2020; Rodríguez-Basalo et al., 2021), selección de áreas adecuadas para la acuicultura (Cretu, 2016), y conservación de la biodiversidad, al proporcionar información sobre los requisitos ecológicos de las especies. De este modo, la cartografía detallada de los rasgos geomorfológicos y los modelos de distribución de hábitats apoyan la planificación de la conservación, la selección de espacios marinos protegidos (EMP) y el desarrollo de planes de gestión, y la selección de lugares óptimos y adecuados para la restauración (Soldal et al., 2009; Valle et al., 2011; UN, 2021).

La aplicación más extendida de este conocimiento científico en los sistemas marinos probablemente sea la designación y planificación de AMP a partir de la identificación de hábitats y especies (Bellido et al., 2008; Gómez-Ballesteros et al., 2014; Serrano

et al., 2017; Brizzolara et al., 2020). Los resultados obtenidos serán utilizados para definir los objetivos de gestión y mejorar la comprensión de la ecología de las especies (Rodríguez & Ruíz, 2010) en estas áreas, y también para estimar o tener una aproximación del impacto potencial de ciertas actividades humanas, para brindar el asesoramiento científico necesario para una asignación ecológicamente racional de estas actividades.

Por tanto, el tipo de estudios llevados a cabo en la presente tesis, junto con los resultados de los modelos de distribución, pueden facilitar la minimización del impacto ambiental y la maximización del beneficio socioeconómico de los bienes y servicios marinos (Salomidi et al., 2012), aspectos que son básicos en la PEM.

Otra de sus aplicaciones en la PEM es proporcionar información muy útil para la identificación de lugares no estudiados de alto potencial de ocurrencia de hábitats y especies. Los mapas de idoneidad del hábitat, podrían respaldar la planificación de la conservación y la selección de AMP y respaldar los planes de gestión para la recuperación de especies a partir de la selección de lugares adecuados para la reintroducción de especies o áreas de restauración.

5.6. Discusión y conclusiones

Por primera vez, se ha realizado una caracterización geomorfológica con este nivel de resolución y detalle en la zona de estudio de ambos sistemas de cañones del mar Cantábrico. Los resultados obtenidos en la presente tesis sobre la caracterización geológica de los fondos marinos del SCA y SCCB han permitido el desarrollo de modelos predictivos de hábitats bentónicos, como son los dos casos de ejemplo expuestos, para demostrar que las capas abióticas desempeñan un papel fundamental en el modelado de los hábitats y las comunidades bentónicas.

Los factores geomorfológicos proporcionan información clave sobre las características del lecho marino que influyen de forma significativa en la distribución de las especies. Sin embargo, es la primera vez que se utilizan estas capas de información geológica para llevar a cabo modelos predictivos de hábitats en la región, y cabe destacar especialmente que nunca antes se habían aplicado en sistemas de cañones que representen zonas de tan elevada complejidad en el margen cantábrico.

Gracias a la caracterización geológica del fondo marino realizada, se ha podido avanzar en el estudio y la distribución de los hábitats, y asimismo demostrar que los principales factores que condicionan la distribución de las comunidades biológicas, y por

tanto de los hábitats, en los cañones submarinos son los factores geomorfológicos. Además, la elevada densidad de datos obtenidos a partir de las ecosondas multihaz proporciona una cobertura espacial del 100 % y elevada resolución de la configuración morfológica del fondo, lo que pone de manifiesto la relevancia de la geomorfología como factor predictivo de la distribución de comunidades y hábitats.

Los resultados obtenidos en estos primeros capítulos de la tesis han contribuido a la conservación y gestión de los hábitats bentónicos vulnerables en el territorio español, ya que, sin la caracterización geológica del lecho marino, no se podría haber avanzado en el conocimiento y la información sobre su distribución y características. El conocimiento de la geomorfología del fondo marino de ambos sistemas de cañones ha sido la base para llevar a cabo los estudio sobre la distribución de los hábitat bentónicos (Sánchez et al., 2017; Abad-Uribarren et al., 2022; Modica et al., 2022; Rodríguez-Basalo et al., 2022). Esta información es crucial para la designación de espacios marinos protegidos y el desarrollo de sus planes de gestión, ya que ayuda a determinar el estado y las necesidades de conservación de los hábitats y las interacciones con usos y actividades antrópicas (Sánchez et al., 2017).



CAPÍTULO 6

Los casos piloto de ordenación del espacio marítimo transfronterizos y su implicación en el proceso nacional en España

Burela - Lugo (Foto: María Gómez)

LOS CASOS PILOTO DE ORDENACIÓN DEL ESPACIO MARÍTIMO TRANSFRONTERIZOS Y SU IMPLICACIÓN EN EL PROCESO NACIONAL EN ESPAÑA

Este capítulo es una versión editada del artículo de investigación publicado en *Costas, vol. esp. 2*, por María Gómez-Ballesteros, Cristina Cervera-Núñez, Mónica Campillos-Llanos, Sagrario Arrieta Algarra, Ana Lloret y Carla Murciano en 2021 con el título «Los casos piloto de ordenación del espacio marítimo transfronterizos y su implicación en el proceso nacional en España» [Maritime Spatial Planning Transboundary Pilot Projects and their Implication in the National Process in Spain]. https://doi.org/10.26359/costas.e1021

Abstract

Maritime Spatial Planning processes are already being implemented in many parts of the world being Europe one of the hot spots due to the approval of the Directive 2014/89/EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 establishing a framework for maritime spatial planning, which oblige every coastal Member State to have approved plans by March 2021. This Directive does not allocate specific funds for the development of these plans but it supports national processes by funding Maritime Spatial Planning transboundary projects among neighbouring countries. These projects have mainly two benefits, one is to provide states with knowledge, capacity and methodologies to apply in MSP national processes, and another one is to facilitate the coherence along plans of neighbouring countries sharing a sea basin region. As biological and ecological processes in the marine environment are not limited by administrative borders, the transboundary component of Maritime Spatial Planning is of extremely importance to manage marine resources in a sustainable way.

Keywords: MSP cross-border, blue economy, sustainable management, planning, marine regions.

Resumen

Los procesos de ordenación del espacio marítimo ya se están implementando en muchas partes del mundo, siendo Europa uno de los puntos calientes debido a la

aprobación de la Directiva 2014/89/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de julio de 2014, por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo, la cual obliga a todos los Estados miembros costeros a tener planes aprobados para marzo de 2021. Esta directiva no asigna fondos específicos para el desarrollo de estos planes, pero apoya los procesos nacionales mediante la financiación de proyectos transfronterizos de ordenación del espacio marítimo entre países vecinos. Estos proyectos tienen principalmente dos beneficios, uno es proporcionar a los Estados miembros conocimientos, capacidad y metodologías para aplicar en los procesos nacionales de ordenación del espacio marítimo, y otro es facilitar la coherencia entre los planes de países vecinos que comparten una cuenca marina. Dado que los procesos biológicos y ecológicos en el medio marino no están limitados por fronteras administrativas, el componente transfronterizo de la Ordenación del Espacio Marítimo es de suma importancia para gestionar los recursos marinos de forma sostenible.

Palabras clave: PEM, economía azul, gestión sostenible, planificación, regiones marinas.

6.1. Introducción

La Planificación Espacial Marina u Ordenación del Espacio Marítimo (PEM u OEM) es un proceso público para analizar y asignar la distribución espacial y temporal de las actividades humanas en zonas marinas para alcanzar objetivos ecológicos, económicos y sociales que normalmente se especifican por medio de un proceso político (Ehler & Douvere, 2009). Un proceso PEM se caracteriza por estar basado en un enfoque ecosistémico, que permita equilibrar metas y objetivos ecológicos, económicos y sociales en aras de un desarrollo sostenible, así como su integración a través de sectores y agencias, y entre diferentes niveles de gobierno, mediante un modelo adaptativo y un enfoque estratégico orientado en el largo plazo y con carácter participativo de los actores involucrados a lo largo de todo el proceso.

La Comisión Europea (CE), en el informe *Cross-border cooperation in Maritime Spatial Planning* (Carneiro et al., 2017), indicó la importancia de la PEM transfronteriza y sus implicaciones. En todo proceso de PEM, la definición de los límites es fundamental, ya que influirá la forma en la cual los actores interesados van a ser involucrados y las acciones que van a ser tomadas (Minang et al., 2015). La mayoría de las veces estos límites se corresponden con fronteras políticas y jurisdiccionales (Ehler & Douvere, 2009) que normalmente no coinciden con los límites de las actividades,

ni mucho menos de los grandes ecosistemas marinos (LME, por sus siglas en inglés), que están condicionados por procesos naturales más allá de cualquier frontera definida por el hombre (Wang, 2004; Cumming et al., 2006; Dilasser et al., 2019). En este contexto, la cooperación y colaboración transfronteriza en la OEM, es decir, entre diferentes jurisdicciones, brinda la oportunidad de mejorar la aplicación eficaz de la planificación y la gestión de los recursos y actividades marinas, facilitando la toma de decisiones y la gobernanza del océano basada en el ecosistema (Douvere, 2008; Gómez-Ballesteros et al., 2021c).

El concepto de gobernanza es clave para gestionar el desarrollo socioeconómico sostenible del medio marino, ya que establece la forma en que se van a aplicar los mecanismos, procesos y reglas a través de los cuales se gestionan las actividades; esto incluye, además, la negociación entre varias escalas administrativas, por un lado, y los actores interesados, por otro, para gestionar las actividades marítimas y sus consecuencias (van Tatenhove, 2010), elementos importantes para el desarrollo satisfactorio de un plan OEM (Ehler & Douvere, 2009).

En los últimos 30 años, ha existido un gran incremento de la normativa medioambiental en la UE a raíz de los efectos de las actividades humanas y el daño que estas producen mundialmente a la naturaleza. En concreto, la preocupación por la protección de la biodiversidad marina durante este tiempo ha implicado un desarrollo gradual de obligaciones jurídicas específicas para otorgar dicha protección (Barreira et al., 2009), que incluía la cooperación transfronteriza por parte de todos los Estados miembros (EM), así como terceros países que compartan regiones o subregiones marinas. Esta necesidad de una normativa aplicada a la protección del medio marino, condujo a la adopción en 2008 de la Directiva 2008/56/CE (EU, 2008) del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva Marco sobre la Estrategia Marina, DMEM). La DMEM tiene como objetivo «establecer un marco en el que los Estados Miembros deberán adoptar las medidas necesarias para lograr o mantener un buen estado medioambiental del medio marino a más tardar en el año 2020». Con ello, se «aplicará un enfoque ecosistémico respecto de la gestión de las actividades humanas, garantizándose que la presión conjunta de dichas actividades se mantenga en niveles compatibles con la consecución de un buen estado medioambiental (BEA) y que no se comprometa la capacidad de los ecosistemas marinos de responder a los cambios inducidos por el hombre».

Esta directiva, traspuesta al derecho español a través de la Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de Protección del Medio Marino (BOE, 2010), obliga a los EM a elaborar

una estrategia marina para cada una de las regiones/subregiones marinas donde tengan jurisdicción de las aguas marinas, que serán revisadas en ciclos de seis años. Asimismo, esta ley creó la Comisión Interministerial de las Estrategias Marinas (CIEM) con la intención de facilitar la coordinación nacional de aplicación de la DMEM y los Comités de Seguimiento de las Estrategias Marinas para cada una de las denominadas demarcaciones marinas (DM). En España son cinco las DM de aplicación de esta ley (artículo 6.2): noratlántica, sudatlántica, Estrecho y Alborán, levantino-balear y canaria (Figura 70), en las que se deberán adoptar las medidas necesarias para lograr o mantener el BEA del medio marino, a través de su planificación, conservación, protección y mejora (artículo 1). La DMEM establece que los EM deberán tener en cuenta los efectos transfronterizos sobre la calidad del medio marino, por lo que la Ley 41/2010 contempla (artículo 23) también los conceptos de cooperación internacional tanto con los EM como con terceros países, para asegurar su coherencia y coordinación.

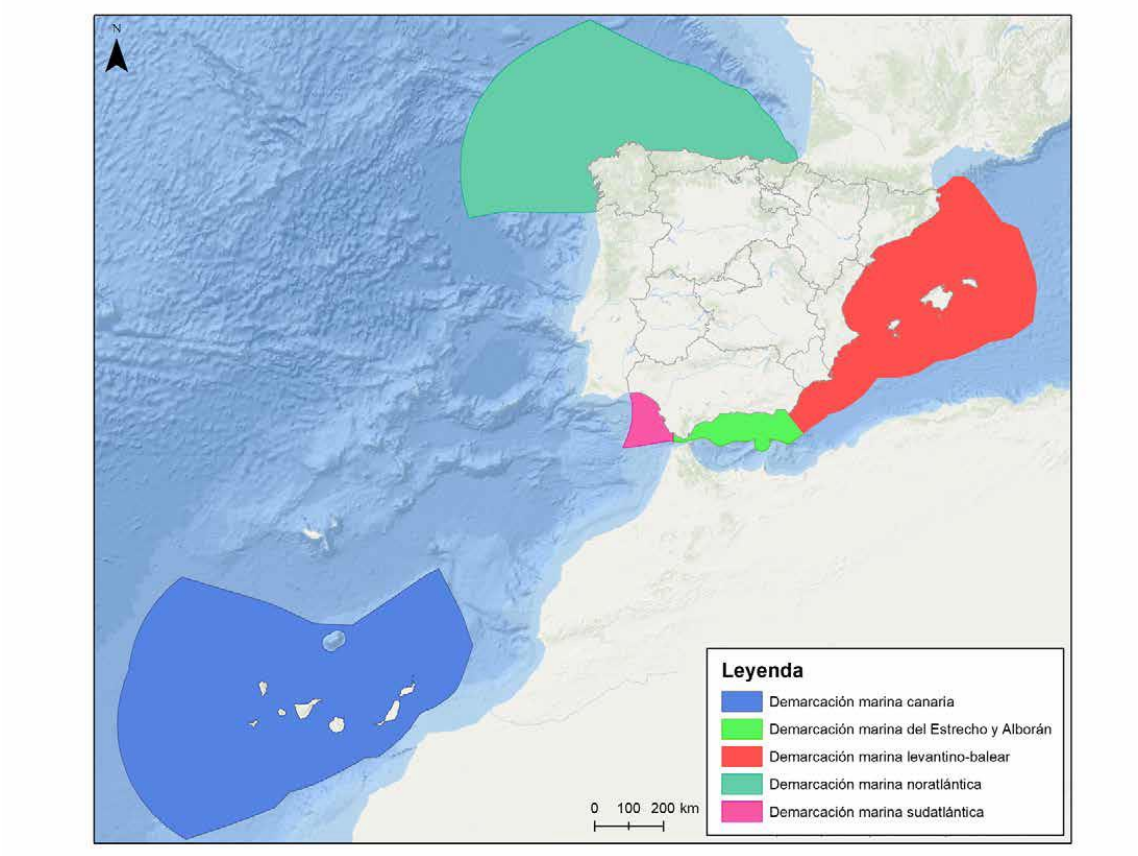


Figura 70. Demarcaciones marinas en España. Fuente de información: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Figure 70. Marine subregions in Spain. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

En 2009, se aprobó la Política Marítima Integrada (PMI) de la Unión Europea (UE) cuyo objetivo es fomentar la adopción coordinada y coherente de decisiones a fin de maximizar el desarrollo sostenible, el crecimiento económico y la cohesión social de los EM, en especial en lo que respecta a las regiones costeras, insulares y ultraperiféricas de la UE**,** así como a los sectores marítimos, por medio de políticas coherentes en el ámbito marítimo y de la cooperación internacional pertinente. Los tres elementos en los que se basa principalmente son:

- La vigilancia marítima, que resulta crucial para un uso seguro del espacio marino.
- La ordenación marítima, que es una herramienta clave de planificación para una toma de decisiones sostenible .
- Una fuente global y accesible de datos e información.

La PMI, además, hace alusión a que se establezcan instrumentos comunes para avanzar en la implementación de la OEM y cerciorarse de que se respeta la integridad de los ecosistemas regionales que rebasan los límites marítimos nacionales, así como recomendar la creación de foros u órganos que acojan a las partes interesadas, haciendo posible una amplia participación de estas en la gobernanza de los asuntos marítimos (EU, 2014); es decir, estos instrumentos de planificación únicamente se podrán elaborar sobre la base de un planteamiento integrado de la gobernanza marítima (EC, 2008b). Por lo tanto, la PMI, a través de sus principios de enfoque ecosistémico, participación activa de las partes interesadas y OEM como herramienta para la toma de decisiones (EC, 2007), refuerza los objetivos e implementación de la PEM y a su vez fortalece y consolida la DMEM cuyo objetivo principal es logar el BEA del medio marino.

Este impulso para la OEM como herramienta fundamental para el desarrollo sostenible de las zonas marinas y las regiones costeras, y para el saneamiento ambiental de los mares de Europa, impulsó que en 2014, se aprobara la Directiva de Ordenación del Espacio Marítimo (DOEM) 2014/89/EU del Parlamento Europeo y del Consejo (EU, 2014). La DOEM tiene como objetivo establecer un marco para la OEM, con vistas a fomentar el desarrollo socioeconómico de las actividades marítimas de una manera ecológicamente sostenible (artículo 1) . Para ello, los EM con jurisdicción en aguas marinas debían elaborar sus Planes de Ordenación del Espacio Marítimo (POEM) antes del 31 de marzo de 2021. Asimismo, la DOEM promueve la mejora de la cooperación transfronteriza de conformidad con las disposiciones pertinentes de

la Convención de las Naciones Unidas sobre Derecho del Mar (UN, 1982) y, en su propio artículo 11, indica que en el proceso de ordenación y gestión, los EM cuyas aguas marinas sean contiguas cooperarán entre sí con el fin de garantizar que los POEM sean coherentes y se coordinen en toda la región marina afectada, teniendo en cuenta, en particular, las cuestiones de carácter transnacional.

La DOEM se traspuso al ordenamiento español a través del Real Decreto 363/2017, de 8 de abril, por el que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo vinculado a la Ley 41/2010 de Protección del Medio Marino, por lo que para cada una de las cinco DM españolas se elaborará un POEM que, de acuerdo a este RD 363/2017 OEM (BOE, 2017), tendrá en cuenta las interacciones tierra-mar, las actividades y usos existentes y futuros pertinentes y sus repercusiones en el medio ambiente marino y, en especial, sobre las especies y espacios protegidos, y los recursos marinos. De la misma manera que se indicaba en la DOEM, el RD OEM 363/2017 ha de tener en cuenta la cooperación transfronteriza con otros EM y terceros países, a través de estructuras existentes de cooperación institucional, como convenios marinos regionales, redes, estructuras de autoridades competentes de los EM o convenciones internacionales.

Esta importancia de la cooperación internacional en los procesos de OEM ha potenciado en estos últimos años numerosas iniciativas transfronterizas entre EM ribereños, como es el caso de España con Francia, Portugal e Italia, y con terceros países como Marruecos y Argelia.

Un ejemplo de ello es la iniciativa MSPglobal (https://www.mspglobal2030.org/es/) que nació tras la firma de la hoja de ruta conjunta para acelerar los procesos de PEM (MSP Roadmap) (IOC-Unesco & DG-MARE, 2019) por la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la Unesco y la Dirección General de Asuntos Marítimos y Pesca (DG MARE) de la UE. La iniciativa MSPglobal tiene como objetivo fomentar y apoyar la cooperación transfronteriza a nivel mundial mediante el desarrollo de nuevas directrices internacionales sobre la PEM y el desarrollo de dos proyectos pilotos PEM, uno en el Pacífico y otro en el Mediterráneo. De esta manera se facilita el contexto para la participación activa y efectiva de los responsables políticos, científicos, ciudadanos y otras partes interesadas para mejorar la gobernanza en múltiples niveles y lograr un enfoque ecosistémico en apoyo de la economía azul a nivel transfronterizo. España forma parte de esta iniciativa y está representada por el Instituto Español de Oceanografía (punto focal nacional), por ser quien representa a España en la COI-Unesco. A su vez, la iniciativa a nivel nacional cuenta con un grupo de expertos del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto

Demográfico (MITERD) como autoridad competente de la OEM en España, y representantes del Ministerio de Asuntos Exteriores, Unión Europea y Cooperación (MAEC) entre otros.

Por otro lado, y también dentro del marco europeo e incluyendo a los países mediterráneos no europeos, destaca la iniciativa BlueMed (BlueMed, 2018) de investigación e innovación para promover la economía azul en la cuenca mediterránea a través de la cooperación, que es la estrategia de referencia para que los países mediterráneos trabajen juntos por un mar Mediterráneo sano, seguro y productivo, mediante la aplicación de su Agenda Estratégica de Investigación e Innovación (SRIA-BlueMed) a través de su plan de implementación (BlueMed, 2020). Los retos de la SRIA-BlueMed se divide en los pilares de conocimiento, económico, tecnológico y otro trasversal de empleo y crecimiento. Las cuestiones de la PEM transfronteriza para comprender los problemas y las oportunidades (sociales, económicas, ambientales) y reforzar los conocimientos sobre las presiones ambientales transfronterizas también son tenidas en cuenta como una prioridad del pilar económico, que mejore la gobernanza del espacio marítimo y los recursos marinos en el mar Mediterráneo. Esta acción de la prioridad de la PEM en el Plan de Implementación (BlueMed, 2020) se ha podido materializar ya en algunos países a través de algunas acciones de los proyectos MSPglobal o MSP-Med, por ejemplo, a través de acciones de capacitación como el curso «Science-Policy-Society interactions in ecosystem-based marine resource management and planning».

Por su parte, la iniciativa WestMED (WestMED, 2016) apoya a las instituciones públicas, los organismos educativos, las comunidades locales, las pequeñas y medianas empresas (PYMES) y los emprendedores de ambos lados del Mediterráneo occidental en el desarrollo conjunto de proyectos marítimos locales y regionales. La iniciativa se centra en retos locales y regionales, proporcionando conocimientos sobre la economía azul, compartiendo las oportunidades de la región con la comunidad de WestMED, facilitando el contacto entre interesados con socios adecuados y apoyando el desarrollo de proyectos comunes. De este modo, se potencia el crecimiento de la economía azul, por lo que contribuye a los objetivos económicos y sociales de la PEM.

Entre todas estas iniciativas y los proyectos piloto en los que se consideran casos de estudio transfronterizo y se abordarán más adelante en este trabajo, a través de la búsqueda de sinergias entre ellos, alineando objetivos y beneficios, se persigue que haya una planificación eficaz del espacio marítimo. Esto implica una cooperación transfronteriza entre todas las partes interesadas y que revierta y alimente los

futuros planes de cada país. El objeto del presente trabajo es mostrar los resultados obtenidos en estos proyectos y como pueden beneficiar a la implementación de la DOEM en España, con especial atención a las áreas transfronterizas. Este trabajo recoge por primera vez los resultados de los diferentes proyectos piloto de ordenación del espacio marítimo transfronterizos en los que España ha participado y hace un análisis sobre la incorporación de estos resultados en el proceso nacional de OEM evaluando como han revertido sobre los objetivos de los POEM. Las lecciones aprendidas a partir de estas experiencias piloto se describen a continuación y su contribución a la aplicación de una Directiva EU que, por primera vez, debía ser implementada por los EM en el año 2021. Asimismo, se realiza una valoración de algunos desafíos, retos, necesidades y áreas de mejora identificados que aún quedan por afrontar.

6.2. Metodología, fuentes de información y ámbito de estudio

El análisis de los casos piloto de ordenación del espacio marítimo transfronterizos y su implicación en el proceso nacional en España se centra en la identificación de los resultados de los casos de estudio que sean de aplicación directa al proceso nacional para apoyar la implementación de la DOEM. Para ello, el ámbito de estudio de este trabajo se centra tanto en el proceso nacional que emana de la DOEM, como en los proyectos piloto transfronterizos en los que España ha participado, para poder entender la aplicación en los POEM de las lecciones aprendidas a partir de estos. La descripción y análisis de ambos, tanto del proceso nacional de OEM como de los proyectos piloto, son el núcleo de análisis y sobre los que se sustentan los apartados de discusión y conclusiones. La metodología aplicada y las diferentes fuentes de información para la investigación realizada han sido la revisión bibliográfica de las normativas europeas y españolas y los criterios de análisis establecidos en los proyectos transfronterizos realizados: metodología conceptual a partir de la revisión bibliográfica; recopilación de datos existentes para la caracterización ambiental de las zonas, los usos y las actividades; análisis espacio-temporal de los usos y actividades; identificación de conflictos, sinergias y demandas espaciales a través de la participación activa de los actores interesados; y evaluación de los resultados e integración de los mismos en una síntesis de lecciones aprendidas. En este trabajo se recopilan estos resultados para analizar su implementación en el proceso de OEM en España y hacer un diagnóstico sobre los objetivos generales de los POEM, los horizontales de interés general y los multisectoriales, a los que contribuyen estos proyectos.

6.3. El proceso nacional de Ordenación del Espacio Marítimo: Elaboración de los POEM

Para entender qué implicación han tenido o pueden tener los proyectos transfronterizos en el proceso de ordenación del espacio marítimo en España, primero es necesario presentar cómo se ha articulado este a nivel de gobernanza, operativo y técnico.

A partir de la entrada en vigor del RD 363/2017 OEM (BOE, 2017), la CIEM estableció la creación de un grupo técnico de trabajo OEM (GT-OEM) formado por representantes de todos los ministerios e instituciones interesadas y/o competentes en asuntos marítimos del país (Tabla 15) y coordinado por la Dirección General de la Costa y del Mar (DGCM) del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITERD) a través de su Subdirección General para la Protección del Mar (SGPM), que es la autoridad competente para la implementación de la OEM en España.

Tabla 15. Entidades de la Administración General del Estado involucradas en el proceso nacional OEM en España. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD).

Table 15. Entities of the General State Administration involved in the national MSP process in Spain. Source: General Directorate of the Coast and the Sea (MITERD).

Ministerio	Dirección General
Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico	D. G. de Sostenibilidad de la Costa y del Mar; D. G. de Biodiversidad y Calidad Ambiental Oficina Española de Cambio Climático D. G. de Política Energética y Minas
Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación	D. G. de Recursos Pesqueros D. G. Ordenación Pesquera y Acuicultura
Ministerio de Asuntos Exteriores Unión Europea y Cooperación	D. G. Coordinación del Mercado Interior y otras Políticas Comunitarias
Ministerio de Fomento	Puertos del Estado D. G. de Marina Mercante Centro de Estudios de Puertos y Costas del CEDEX
Ministerio de Ciencia e Innovación	Consejo Superior de Investigaciones Científicas Instituto Español de Oceanografía Agencia Estatal de Investigación
Ministerio de Defensa	División de Planes del Estado Mayor de la Armada
Ministerio de Cultura y Deporte	D. G. de Bellas Artes
Ministerio de Sanidad, Consumo y Bienestar Social	D. G. Salud Pública, Calidad e Innovación
Ministerio del Interior	Servicio Marítimo de la Guardia Civil

La función del GT-OEM es la coordinación de los trabajos técnicos de puesta en marcha y aplicación de las obligaciones establecidas en el RD 363/2017 OEM (BOE, 2017). A su vez, este grupo de trabajo está apoyado a nivel técnico por el Centro de Estudios de Puertos y Costas (CEPYC) del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX), responsables de analizar la huella de las presiones humanas y desarrollar el inventario de usos y actividades en el medio marino, tanto presentes como futuros. Por su parte, el Instituto Español de Oceanografía (IEO) es responsable de llevar a cabo los estudios ambientales del medio marino y analizar las presiones e impactos de las actividades humanas sobre los ecosistemas marinos.

En cuanto a su ámbito de aplicación, el artículo 2 del RD OEM 363/2017 establece que: «el presente Real Decreto se aplicará a todas las aguas marinas, incluidos el lecho, el subsuelo y los recursos naturales, en los que el reino de España ejerza soberanía, derechos soberanos o jurisdicción. Asimismo será de aplicación a la plataforma continental española», coincidiendo por tanto con las cinco DM (Figura 70) establecidas por la Ley 41/2010 de Protección del Medio Marino, para cada una de las cuales, se elaborará un plan. Sin embargo, no será de aplicación a las actividades cuyo único propósito sea la defensa o la seguridad nacional, a la ordenación del territorio y urbanismo ni a las aguas costeras (a partes de las mismas que sean objeto de medidas de ordenación del territorio y urbanismo) ni a las aguas de zona de servicio de los puertos, a condición de que así se establezca en los planes de ordenación del espacio marítimo.

Las aguas españolas limitan con las aguas jurisdiccionales de 5 países diferentes, 3 de ellos EM y 2 terceros países. De este hecho parte la importancia de establecer una comunicación y cooperación transfronteriza eficiente en relación a la OEM y a la normativa comunitaria y estatal, para lo cual, los proyectos e iniciativas internacionales son una herramienta muy útil que facilita esta labor, pues establece vías de colaboración a través de la puesta en común de proyectos pilotos en áreas transfronterizas. El establecimiento de estos mecanismos de cooperación transfronteriza en foros de proyectos comunes sienta las bases para la aproximación y el diálogo entre las diferentes partes.

En España, los gobiernos regionales de las Comunidades Autónomas (CCAA) tienen diferentes competencias en cuanto al espacio marítimo (art. 148 CE) como pueden ser: la gestión del medio marino y su protección, en relación con áreas marinas protegidas (AMP) con continuidad ecológica con otro espacio protegido en tierra, la acuicultura, la pesca en aguas interiores y el marisqueo, descarga de agua de saneamiento, turismo, actividades y puertos recreativos. En este sentido, se crearon los

Comités de Seguimiento de las Estrategias Marinas, de acuerdo al artículo 22 de la Ley 41/2010 que regula su composición, funciones y régimen de funcionamiento para cada una de las DM, y con el objeto de liderar la coordinación entre la Administración General del Estado (AGE) y las CCAA en materia de estrategias marinas. Estos comités son el foro de discusión que el RD OEM 363/2017 establece para consultar los borradores de los POEM con carácter previo a su aprobación con las CCAA. En este sentido, el GT-OEM liderado por la DGCM (autoridad competente en la OEM) ha realizado reuniones con los diferentes comités y representantes de las CCAA a los largo del proceso nacional de OEM, para presentar los objetivos transversales de los planes y evaluar los intereses de estas de acuerdo a la propuesta de objetivos autonómicos para cada uno de los diferentes sectores marítimos. Asimismo, se han llevado a cabo reuniones bilaterales entre la DGCM y los gobiernos regionales, con participación de algunos expertos del GT-OEM, para presentar los borradores de los POEM junto al inventario de usos y actividades para cada región y establecer una primera discusión sobre las interacciones tierra-mar. El objetivo de estas reuniones ha sido también la identificación de potenciales «temas calientes», como la existencia de conflictos actuales o futuros entre diferentes usos, o la estrategia de crecimiento regional para ciertos sectores, como es el caso de la energía eólica marina, por ejemplo.

En cuanto al ámbito temporal, la DOEM establece que los planes deben estar aprobados a más tardar en marzo de 2021 y que se revisarán al menos cada 10 años. Sin embargo, y debido a que en España esta directiva se ha traspuesto mediante el RD OEM 363/2017 vinculado a la Ley 41/2010 establecida en ciclos de 6 años, la primera revisión de los POEM se realizará a los 6 años desde la aprobación de los mismos.

Para la correcta implementación de la PEM es recomendable plantearla bajo un enfoque secuencial (Ehler & Douvere, 2009; Coleman et al., 2011; EU, 2014; Pınarbaşı et al., 2017; Quintela et al., 2019; Gómez-Ballesteros et al., 2021c) que permita definir las diferentes fases en la elaboración de los POEM, su implementación y seguimiento. En el proceso nacional en España, esta secuencia ha venido definida por 6 estadios fundamentales (Figura 71).

Las siguientes secciones abordan la explicación de los diferentes pasos llevados a cabo hasta ahora en el proceso OEM en España.

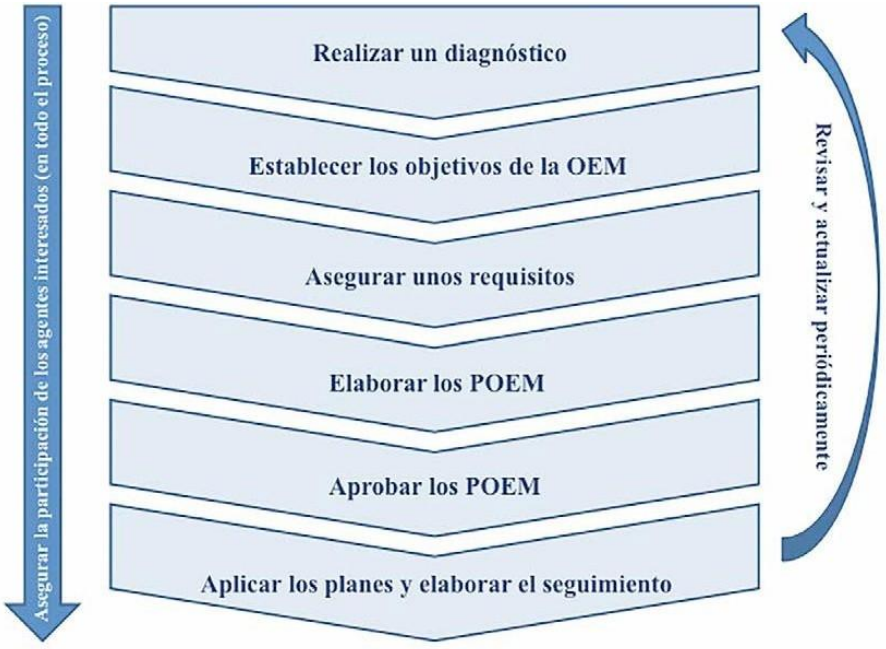


Figura 71. Proceso de elaboración de los POEM en España. Fuente de información: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Figure 71. POEM development process in Spain. Information source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

DIAGNÓSTICO

El primer paso para la elaboración de los planes conlleva la realización de un diagnóstico del estado actual del medio marino y sus actividades, en este caso en España. Para ello, se ha hecho uso de la información generada en los trabajos del 2º ciclo de las estrategias marinas de España y, en concreto, de la actualización de la evaluación inicial del estado del medio marino, sus presiones e impactos, y del análisis económico y social (artículo 8 de la Ley 41/2010 de protección del medio marino). Esta información junto con la recibida de las administraciones competentes a través de los expertos del GT-OEM en el que están representados los ministerios e instituciones interesadas y/o competentes en asuntos marítimos del país, son la base del diagnóstico, lo cual no significa que este diagnóstico pueda ser objeto de mejora a lo largo del proceso de elaboración de los POEM.

REQUISITOS Y OBJETIVOS DE ORDENACIÓN

La OEM es un proceso que permite abarcar la complejidad de un medio en el que se desarrollan actividades de muy distinta naturaleza, bajo una visión holística y multidisciplinar (MITERD, 2019). La confluencia de actividades en el espacio marítimo

requiere una gestión eficaz que sea compatible con la consecución del buen estado ambiental y los objetivos ambientales de las estrategias marinas; mitigue los posibles conflictos espaciales presentes y futuros; contemple los sectores emergentes en el mar como fruto del más reciente desarrollo tecnológico; y persiga la identificación de las posibles relaciones sinérgicas entre las distintas actividades, de forma que estas sean más rentables y sostenibles en el tiempo, tal y como establece el RD OEM 363/2017. Para lograrlo, es necesario partir del establecimiento de unos objetivos tangibles, concretos y precisos identificados a partir del diagnóstico inicial, y que tengan en cuenta los principios de la PEM, cumpliendo por tanto con: los objetivos ambientales de las estrategias marinas y los objetivos de la planificación sectorial; los aspectos económicos, sociales y medioambientales para apoyar el desarrollo y el crecimiento sostenibles en los sectores marítimos, aplicando un enfoque ecosistémico; y la contribución al desarrollo sostenible de los sectores marítimos sin menoscabo de la conservación, protección y mejora del medio ambiente marino, incluida la resiliencia a los efectos del cambio climático.

El establecimiento de los objetivos en el proceso español ha sido articulado en torno a sectores marítimos, y no en torno a usos y actividades. Dentro de estos usuarios del mar, se identificaron sectores mayoritariamente privados y sectores que consideran aspectos horizontales de interés general (Tabla 18 y Tabla 17), clasificación no unívoca, ya que existen casos, como la investigación científica, que podría encajar en ambas categorías. En cualquier caso, ambas categorías, como se puede deducir, son susceptibles de tener una componente transfronteriza en casos específicos.

Por lo tanto, la elaboración de los objetivos de ordenación se nutre de los objetivos identificados para los sectores, los aspectos de interés general y los objetivos ambientales de las estrategias marinas (Figura 72), estableciéndose así una preponderancia de los objetivos de interés general y quedando clasificados como objetivos de ordenación general, horizontales y sectoriales.

La DOEM y, por tanto, el RD OEM 363/2017, establecen ciertos requisitos que deben cumplir todos los planes. Entre ellos se estipula, como ya se ha mencionado anteriormente, la obligación de garantizar la cooperación transfronteriza entre los EM de la UE y la promoción de la cooperación con terceros países. Para que este aspecto sea tenido en cuenta desde las primeras fases del proceso, en la misma definición de los objetivos de ordenación para los planes españoles se han de tomar como referencia objetivos a nivel comunitario y a nivel internacional, además de los objetivos a nivel nacional (Figura 73).

Tabla 16. Aspectos horizontales de interés general cuyos objetivos son prioritarios por emanar de políticas públicas orientadas a la protección del patrimonio común, la seguridad y la salud. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Table 16. Horizontal aspects of general interest which objectives are a priority because they emanate from public policies aimed to the protection of the common heritage, safety and health. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography).

Aspectos horizontales de interés general Sus objetivos son prioritarios por emanar de políticas públicas orientadas a la protección del patrimonio común, la seguridad y la salud.
Medio ambiente marino, incluidos los espacios marinos protegidos, medio ambiente costero y cambio climático
Saneamiento, depuración y calidad de las aguas de baño
Defensa nacional
Vigilancia, control y seguridad marítima
Investigación científica
Patrimonio cultural submarino
Suministro, abastecimiento y desalación de aguas

Tabla 17. Sectores contemplados para el establecimiento de los objetivos de ordenación del espacio marítimo. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Table 17. Sectors considered for the establishment of MSP objectives. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography

Sectores Marítimos Económicos y Mayoritariamente Privados «empresariales»
Acuicultura
Pesca extractiva
Sector energético-hidrocarburos*
Sector energético – energías renovables
Sector transporte eléctrico y telecomunicaciones*
Navegación**
Actividad portuaria*
Extracción de materias primas (minería submarina)
Turismo y actividades recreativas
*Los sectores indicados con asterisco cuentan con infraestructuras denominadas críticas o de interés general, lo cual deberá tenerse en cuenta a la hora de abordar la ordenación del espacio marítimo. **Existen ciertas líneas de navegación que están declaradas de interés público, lo cual deberá tenerse en cuenta a la hora de abordar la ordenación del espacio marítimo



Figura 72. Objetivos OEM en España. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.
Figure 72. Spanish MSP objectives. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography).

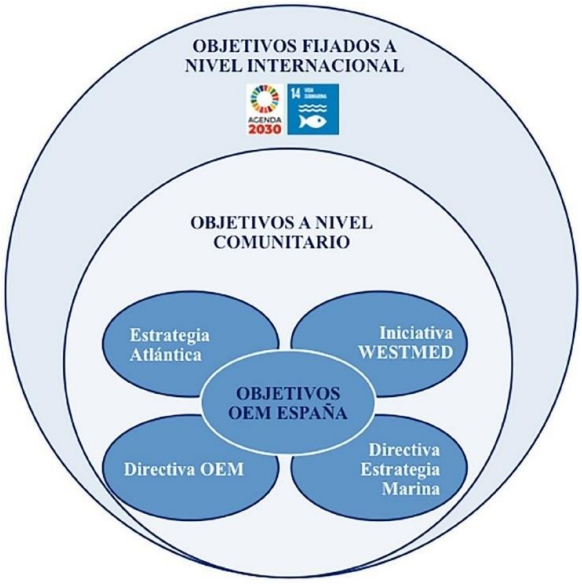


Figura 73. Aplicación de los objetivos internacionales y comunitarios para los POEM en España. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.
Figure 73. Application of international and community objectives for MSP Plans in Spain. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

Todos estos objetivos descritos en el apartado regirán los cinco POEM españoles, además de la identificación de objetivos concretos y específicos para cada una de las cinco DM, de acuerdo a la idiosincrasia de cada zona, la identificación de «zonas calientes» y la escala espacial del plan, y en la medida en que estos sean necesarios y propuestos por las administraciones sectoriales correspondientes o por los agentes interesados y usuarios del mar. A menudo, estos objetivos serán preliminares e indicativos cuando se establecen por primera vez, como es el caso de España actualmente, y más concretos cuando se evalúe y adapte el plan, más tarde, siguiendo el proceso de gestión adaptativa de la PEM (Ehler & Douvere, 2009).

La elaboración de los planes conlleva tener en cuenta ciertos aspectos de la dinámica de las actividades marítimas y su interacción con el medio marino. Estas cuestiones, cuya inclusión en los planes está determinada por la DOEM, además de por las diversas guías de buenas prácticas sobre OEM (Jay & Gee, 2014), suponen, en algunos casos, desafíos para el proceso nacional además de oportunidades para trabajar de manera transfronteriza a través de los proyectos piloto. Consecuentemente, la OEM pretende ser un proceso dinámico y no estático, que lleva implícito tanto desafíos como oportunidades, y que obliga a que los POEM estén sometidos a un seguimiento continuo que permita establecer cambios que serán aprobados para ciclos de seis años. Esto permitirá abordar nuevos retos y desafíos que puedan ir surgiendo de acuerdo al desarrollo sostenible de la economía de los países.

EFICACIA DE LOS POEM

La fase de diagnóstico de un proceso de OEM incluye el desarrollo de un inventario de actividades y usos actuales, pero un POEM no se puede limitar a describir el estado actual de un área marina. La OEM habla intrínsecamente sobre el futuro, y su potencial reside en el pensamiento estratégico a largo plazo que debería estar alineado con los objetivos del plan, para lo cual tiene que servirse del análisis del estado de los sectores marítimos y sus tendencias. Sin embargo, es posible que en el horizonte temporal de vigencia del plan puedan surgir necesidades de uso que inicialmente no estaban previstas, así como modificación de la intensidad de las que sí lo estaban. El POEM deberá, por tanto, ser flexible y poseer las capacidades necesarias para adaptarse a estos cambios además de a los procesos marinos ecológicos, (Ehler & Douvere, 2009; Quintela et al., 2019), es decir, habrá de garantizarse la adaptabilidad del plan para lograr su máxima eficacia.

La OEM está fundamentada en proporcionar una referencia que facilite el mejor desarrollo económico de los usos y actividades humanas, sostenible y basado en el

ecosistema de acuerdo a los principios de la PEM; por lo tanto, los planes deberán recoger la aptitud de los espacios marinos para la realización de las actividades y usos relevantes, teniendo en cuenta la potencialidad de cada zona, así como su capacidad de carga y el mantenimiento del buen estado ambiental, recogiendo información espacial que refleje todo ello con claridad (Figura 74).



Figura 74. Información espacial de los POEM. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Figure 74. MSP Plans spatial data. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

ASPECTOS TIERRA-MAR

El análisis de las interacciones tierra-mar debe ser entendido como un componente importante en la preparación de un POEM. Es importante considerar la continuidad entre la tierra y el mar, y asegurar que la OEM se lleva a cabo de una manera integrada a lo largo de las áreas marinas y terrestres. Esto es de interés para ambos: la protección del medio ambiente de las áreas costeras y el desarrollo efectivo de las economías marinas y costeras.

Tanto la DOEM como el RD OEM 363/2017 establecen que los POEM deberán tener en cuenta las interacciones tierra-mar. Igualmente se indica que, a fin de tenerlas en cuenta, se podrá recurrir a otros instrumentos para definir esta interacción y el resultado deberá quedar plasmado en los POEM. Además de las obligaciones establecidas por la DOEM, España ratificó en 2010 el Protocolo de Gestión Integrada de Zonas Costeras en el Mediterráneo del Convenio de Barcelona (EU, 2002; Convenio de Barcelona, 2008).

El concepto de interacciones tierra-mar en el proceso de OEM español comprende diferentes vías de aproximación complementarias:

- Interacciones debidas a procesos naturales entre la tierra y el mar.
- Interacciones entre usos y actividades. Pudiendo ser conflictos o interdependencias.
- Interacciones entre procesos de planificación que se desarrollan en tierra, y en el mar.

Las interacciones tierra-mar, su naturaleza, y forma de abordarlas pueden variar considerablemente entre una DM y otra, tanto por los diferentes factores ambientales de cada una de las regiones como por el desarrollo de los diferentes sectores. Un ejemplo es el sector de la acuicultura impulsada en la Región de Murcia (DM levantino-balear) bajo unas condiciones ambientales muy diferentes a las que caracterizan la cornisa gallega (DM noratlántica), o incluso otras regiones en las que ni se desarrollan este tipo de actividades.

El objetivo del análisis de las interacciones es el de informar el proceso de planificación a través de la identificación de los elementos clave sobre los procesos que unen las áreas marinas y terrestres que necesitan ser consideradas en la PEM. Por ello, los temas de interacciones son clasificados en dos grandes grupos: tierra a mar y mar a tierra, habiéndose identificado 7 temas «tierra-mar» y 6 «mar-tierra» (Figura 75).

Actualmente, se está realizando un análisis de instrumentos de planificación que ya abordan esta cuestión en las diferentes DM, como pueden ser, los planes de gestión de cuenca, los planes de protección costera y los planes de ordenación urbana. La OEM solo abordará los aspectos no abordados por estos planes.

AGENTES INTERESADOS

Tanto la DOEM como el RD OEM 363/2017 ponen énfasis en la importancia de la implicación de los agentes interesados y sectores económicos desde el principio del proceso de ordenación incluyendo además la participación pública como aspecto transversal al proceso de PEM (Figura 71). También hay que tener en cuenta que, en España, toda herramienta de planificación con incidencia ambiental, ha de ser objeto de participación pública siguiendo la normativa vigente que se concreta en este caso a través de la Ley 27/2006, de 18 de julio, por la que se regulan los derechos de acceso a la información, de participación pública y de acceso a la justicia en materia de medio ambiente, además de las obligaciones que concreta en torno al proceso de OEM recogidas en el RD OEM 363/2017, y el procedimiento de Evaluación Ambiental Estratégica (EEA) recogido a través de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre de

evaluación ambiental. En este sentido, el MITERD como autoridad competente, ha sido el responsable de contactar con todos aquellos agentes tanto públicos como privados, y organizar diferentes encuentros de participación con las CCAA costeras de manera conjunta e individual, para poder debatir sobre los aspectos de la OEM en España, y en particular, en la parte de subregiones que se tratase.

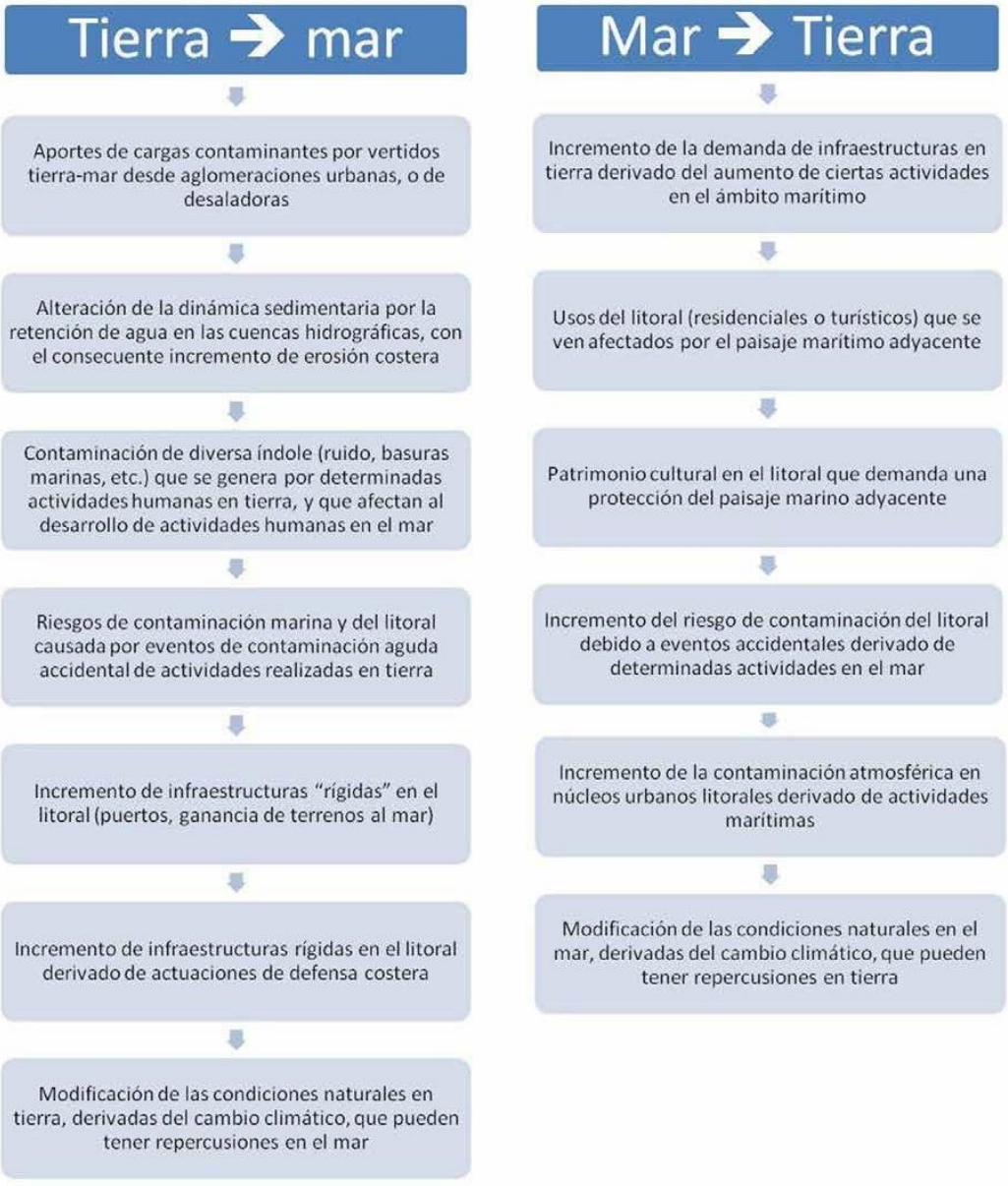


Figura 75. Interacciones Tierra a Mar y Mar a Tierra incluidas en los POEM. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Figure 75. Land to Sea and Sea to Land interactions included in MSP. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

A nivel de actores públicos se llevó a cabo una primera reunión con representantes institucionales de las CCAA de los sectores de turismo, pesca y acuicultura, medio ambiente y áreas protegidas, puertos autonómicos (regionales) y patrimonio cultural.

Después de esta primera toma de contacto, se han llevado a cabo diez reuniones bilaterales con representantes de cada una de las regiones costeras españolas, a partir de ahí, se identificaron «temas calientes» a discutir, para los que se han creado grupos *ad hoc* entre las CCAA y el GT-OEM para discutir específicamente sobre espacios marinos protegidos, navegación y colisión de cetáceos, puertos, energías renovables, patrimonio cultural subacuático, hábitats bentónicos y actividades recreativas. Estas reuniones están sirviendo para recabar información y datos espaciales al igual que para definir el tipo de acciones a llevar a cabo en ámbitos específicos.

EL ENFOQUE ECOSISTÉMICO Y LOS ESPACIOS MARINOS PROTEGIDOS (EMP) EN LOS POEM

En cualquiera de las diferentes figuras de protección que se pueden encontrar en el medio marino español, las herramientas de planificación y regulación de usos dentro de un espacio protegido prevalecen sobre la normativa y planificación sectorial. Esto también aplica, por tanto, a la prevalencia sobre los POEM. En consecuencia, esta relación se puede describir en cuatro posibles situaciones mostradas en la Figura 76.

El RD OEM 363/2017 también incluye los elementos de la Infraestructura Verde marina (MITERD, 2020) como otro «uso» a considerar en los planes, lo cual apoyaría la aplicación del enfoque ecosistémico (Gubbay, 2004; Domínguez-Tejo et al., 2016). En España, se ha desarrollado la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (IVCRE) en base al artículo 15 de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad, para la identificación y conservación de los elementos del territorio que componen la Infraestructura Verde del territorio español, terrestre y marino (MITERD, 2020). Para ello, la AGE, a través de IVCRE, los POEM de cada DM y el Plan Director de la Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE, establecido a través de la Ley 41/2010), promoverá los elementos marinos de la Infraestructura Verde, particularmente en el fomento de la conservación de corredores ecológicos y la gestión de aquellos elementos que resulten esenciales o revistan primordial importancia para la migración, la distribución geográfica y el intercambio genético entre poblaciones de especies de fauna y flora marinas, realizando las acciones necesarias, cuando sea posible, para la mejora de la conectividad en el ámbito marino, y priorizando los criterios ambientales en función de la particular problemática identificada en las Estrategias Marinas.

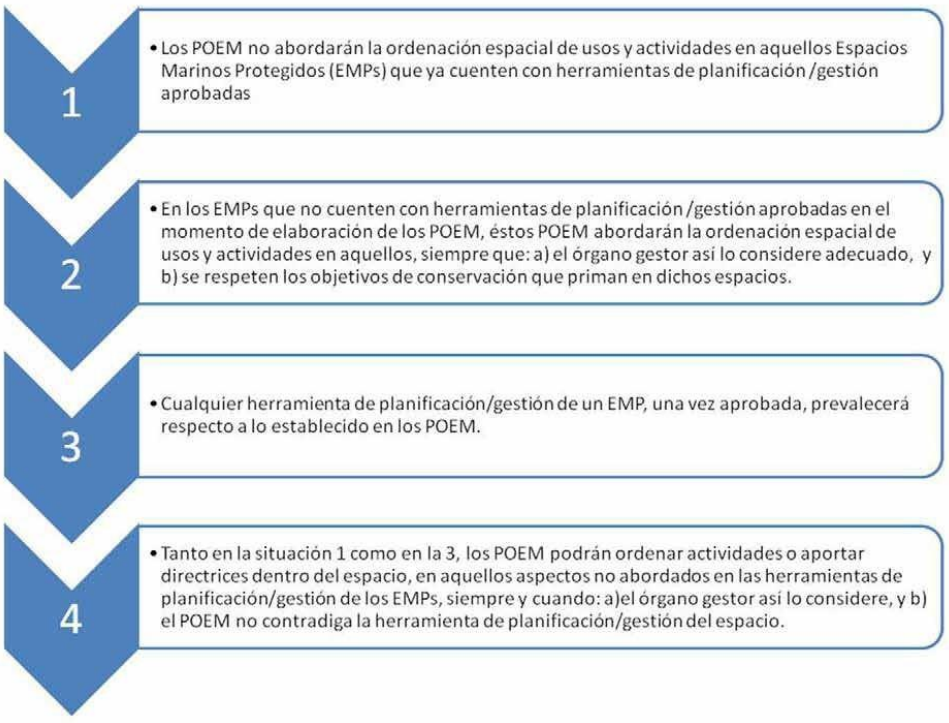


Figura 76. Situaciones de los POEM en relación a los Espacios Marinos Protegidos. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Figure 76. MSP situations according to Marine Protected Areas. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

LA EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA

La Evaluación Ambiental Estratégica (EAE) es un proceso de obligatorio cumplimiento que debe realizarse a planes y programas antes de ser aprobados, a fin de evaluar los efectos que puedan tener sobre el medioambiente. Para ello, el Estado español debe cumplir con los requerimientos de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental. En esta ley, se establece que serán objeto de una evaluación ambiental estratégica ordinaria los planes y programas, así como sus modificaciones, que se adopten o aprueben por una Administración pública y cuya elaboración y aprobación venga exigida por una disposición legal o reglamentaria o por acuerdo del Consejo de Ministros o del Consejo de Gobierno de una comunidad autónoma, siempre que se cumplan algunos requisitos establecidos en el artículo 6 de la citada ley. Por tanto, la OEM debe someterse a EAE ordinaria, ya que establece el marco para la futura autorización de proyectos legalmente sometidos a evaluación de impacto ambiental y refiriéndose a la utilización del medio marino, y requiere una evaluación por afectar a espacios Red Natura 2000 en los términos previstos en la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad.

Para cumplir con este proceso, la DGCM como órgano promotor y órgano sustantivo de dichos planes, se dirigió al Órgano Ambiental, en este caso la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental del MITERD, con la finalidad de que disponga de la información pertinente para preparar el documento de alcance que ha de regir el proceso de EAE de la OEM. Con ello, la DGCM elaboró el Documento Inicial Estratégico en cumplimiento del artículo 18 de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, estableciéndose el inicio del procedimiento de EAE de los POEM. El Órgano Ambiental sometió el borrador del plan y el documento inicial estratégico a consultas de las Administraciones públicas afectadas y de las personas interesadas.

El documento estuvo a disposición pública para su consulta en la web del MITERD durante el primer trimestre del 2020, con un plazo de cuarenta y cinco días hábiles que fue ampliado debido a la situación de la pandemia COVID-19. Durante ese tiempo las partes interesadas pudieron aportar comentarios y alegaciones al documento. Además, como parte de este proceso, el Documento Inicial Estratégico fue enviado por parte del Órgano Ambiental a los gobiernos de Francia, Italia y Portugal para cumplir con las consultas transfronterizas iniciales con países vecinos.

Una vez finalizado el plazo de recepción de aportaciones por parte de los interesados, el Órgano Ambiental elaboró el Documento de Alcance del Estudio Ambiental Estratégico, y se remitió al promotor y al órgano sustantivo (DGCM), en marzo 2021, para cumplir con los plazos y requerimientos de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre.

COOPERACIÓN TRANSFRONTERIZA

Como ya se ha mencionado, tanto la DOEM como el RD OEM 363/2017 establecen la necesidad de cooperar con otros EM con el fin de garantizar que los POEM sean coherentes entre los países vecinos, así como con terceros países.

Para establecer las bases de esta cooperación transfronteriza, España a través del MITERD o instituciones que designe, participa en distintas iniciativas comunitarias que persiguen este fin, entre las que se puede citar el grupo de expertos en OEM, denominado «Marine Spatial Experts Group (MSEG)» coordinado desde la propia CE. Del mismo modo, se participa en el mecanismo de asistencia a los EM, como la plataforma de intercambio de información y experiencias (MSP Platform), y el Foro Marítimo Europeo (EU Maritime Forum).

Por otro lado, la CE ha lanzado diferentes convocatorias de proyectos de cooperación transfronteriza que tienen como objeto apoyar la implementación de la DOEM con un enfoque transfronterizo. Diversas instituciones españolas, avaladas por el

MITERD, han participado o participan a día de hoy en estos proyectos, y en todos ellos la autoridad competente forma parte del comité de seguimiento.

6.4. Análisis sobre las implicaciones de los proyectos pilotos transfronterizos en el proceso nacional de los POEM

Desde el año 2012, España ha participado en un total de 6 proyectos de financiación EU para el apoyo a la implementación de la DOEM en áreas transfronterizas (Figura 77), tanto en la cuenca atlántica como en la mediterránea y la región macaronésica. En cada uno de estos proyectos, se han establecido diferentes áreas o casos piloto de estudio abordando los objetivos concretos identificados para cada zona.

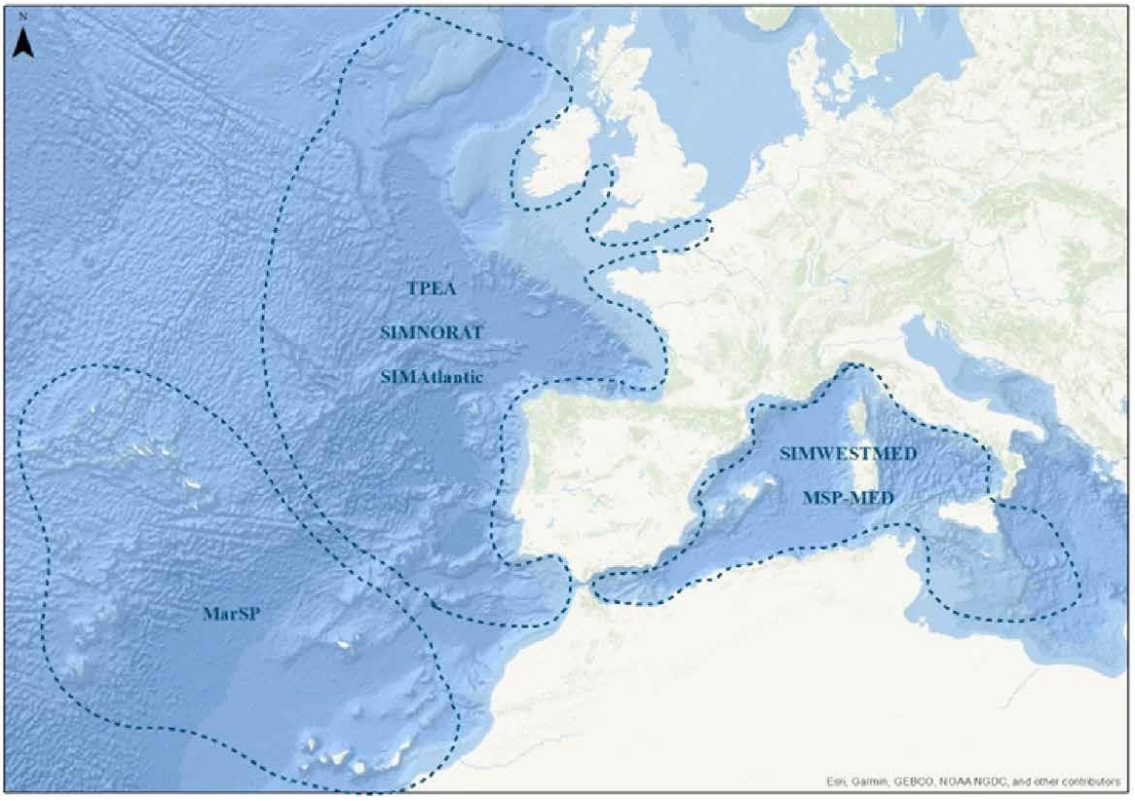


Figura 77. Proyectos OEM transfronteriza en los que España ha sido partícipe. Nota: los límites no se corresponden con el 100 % del área de estudio de cada proyecto, muestran las zonas aproximadas de aplicación de los mismos. Fuente: Información de los proyectos europeos donde el Instituto Español de Oceanografía ha sido socio. Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Figure 77. Cross-border MSP projects where Spain has participated. Note: the limits do not correspond to 100% of the study area of each project, they show the approximate areas. Source: Data from Spanish Institute of Oceanography european projects. Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

PROYECTO TPEA

El proyecto TPEA – Transboundary Planning in the European Atlantic (TPEA, 2012), fue un proyecto cofinanciado por la DG MARE entre los años 2012 y 2014, cuyo objetivo fue la aplicación de los enfoques de la PEM transfronteriza en la región atlántica europea en dos contextos geográficos y políticos: uno en la parte septentrional, entre Irlanda y el Reino Unido, y otro en la parte meridional, entre Portugal y España. La participación de los sectores de interés en el medio ambiente marítimo fue un elemento fundamental en el Proyecto TPEA (Jay et al., 2016) y el consorcio del proyecto se comprometió a ampliar el proceso participativo a través de talleres en los que se involucró a las partes interesadas de cada caso piloto.

PROYECTO SIMNORAT

El proyecto SIMNORAT – Supporting Maritime Spatial Planning in the North Atlantic (SIMNORAT, 2017), llevado a cabo entre los años 2017 y 2019, estuvo centrado en apoyar la aplicación de la DOEM en la región marina del Atlántico Norte europeo y promover la cooperación a través de las fronteras entre los países involucrados. El área del proyecto se correspondía con las aguas jurisdiccionales de Portugal, España y Francia en la Región Ospar IV (OSPAR, 1992) incluyendo las montañas submarinas de Vigo y Vasco da Gama y el Banco de Galicia. El proyecto involucró instituciones socias de los tres países con competencias en investigación, planificación y gestión marina. Para alcanzar los objetivos, se llevaron a cabo las siguientes tareas: evaluación inicial de la OEM; proceso de la ordenación del espacio marítimo; metodología para una MSP transfronteriza; demandas espaciales y tendencias futuras; requisitos de datos e información para la ordenación del espacio marítimo; herramientas y métodos de apoyo a la ordenación del espacio marítimo, y siempre con el compromiso de las partes interesadas.

PROYECTO SIMWESTMED

El proyecto SIMWESTMED – Supporting Maritime Spatial Planning in the Western Mediterranean region (SIMWESTMED, 2017), cofinanciado por la DG MARE, apoyó la aplicación de la DOEM para poner en marcha y llevar a cabo iniciativas concretas transfronterizas de OEM entre los EM del Mediterráneo Occidental partícipes en el proyecto, entre los años 2017 y 2018. Para ello, se llevaron a cabo 5 casos de estudio: Var (Francia), Toscana (Italia), golfo de León (Francia y España), estrecho de Sicilia (Italia y Malta) y área Tirreno (Cerdeña y la Toscana, Italia). Para alcanzar estos objetivos, las actividades desarrolladas en SIMWESTMED (Bassan et al., 2019) se

centraron en la evaluación inicial de la OEM en cada zona piloto, la cooperación en materia de OEM en el Mediterráneo occidental, una metodología para una OEM transfronteriza, análisis de las demandas espaciales y tendencias futuras de los diferentes sectores marítimos, necesidades de datos e información para el proceso OEM, herramientas y métodos de apoyo a la OEM, y la involucración de las partes interesadas participantes en el proceso OEM.

PROYECTO MARSP

EL proyecto MarSP – Macaronesian Maritime Spatial Planning (MarSP, 2018), también cofinanciado por la DG MARE, apoyó el proceso OEM en las tres regiones ultraperiféricas de la región macaronésica: Azores, Madeira y Canarias. Sus objetivos estuvieron centrados en el desarrollo de acciones concretas para Portugal y España (Cordero el al., 2019) para desarrollar las capacidades y los instrumentos OEM necesarios para la región, incluidos los mecanismos de cooperación transfronterizos; proporcionar herramientas de gestión adecuadas, adaptadas a los entornos ambientales y socioeconómicos regionales de cada archipiélago de la Macaronesia y reforzar la posición de la Macaronesia en el contexto de la gobernanza internacional del mar. Se llevó a cabo durante los años 2018 y 2019.

PROYECTO SIMATLANTIC

El proyecto SIMAtlantic – Supporting Implementation of Maritime Spatial Planning in the Atlantic (SIMAtlantic, 2019), en curso desde el año 2019 y hasta el año 2021, trata de fortalecer la OEM en cinco países del océano Atlántico. Esto se logrará mediante el desarrollo de una «visión atlántica» para la OEM basada en las conclusiones de una serie casos piloto y temas transversales, reconociendo al mismo tiempo las características geográficas de la región Atlántica, los usos y necesidades espaciales actuales y los acuerdos de gobernanza existentes. El consorcio SIMAtlantic está compuesto por instituciones de Irlanda, Francia, Portugal, España, Reino Unido e Irlanda del Norte.

PROYECTO MSP-MED

El proyecto MSP-MED – Maritime Spatial Planning in the Western Mediterranean area (MSP-MED , 2020) tiene por objetivo general favorecer la OEM en el Mar Mediterráneo apoyando el establecimiento de planes coherentes y coordinados a través de la región Mediterránea y entre EM en línea con los objetivos de la DOEM, además de buscar la cooperación con terceros países. Las autoridades competentes en OEM de Francia, Grecia, Italia, Malta, Eslovenia y España participan directamente o

avalando instituciones nacionales para participar en el proyecto y su desarrollo. El proyecto, que comenzó en el año 2020 y tuvo una duración de dos años, apoyó la definición de diferentes objetivos OEM nacionales a través de tareas específicas, apoyando las hojas de ruta hacia la adopción de los planes de los EM participantes. Los objetivos incluyen el intercambio de la información OEM más relevante, particularmente aquella con relevancia a través de las fronteras, y la promoción de un intercambio efectivo de experiencias entre los países involucrados.

Las instituciones involucradas en los diferentes proyectos transfronterizos, como el IEO y el CEDEX, y el MITERD en el comité consultivo de los mismos, también trabajan en el proceso de OEM a nivel nacional. Esto, además de las iniciativas MSPglobal, BlueMed y WestMED, de las que también forman pare el IEO y MITERD, favorecen que en España el proceso nacional esté reforzado de una colaboración y coordinación de diferentes ministerios que tienen competencias sobre el medio marino, y que forman parte del GT-OEM (Tabla 18).

Todo esto favorece la alineación de las actividades desarrolladas en los proyectos transfronterizos con las necesidades del proceso nacional, tanto en el diseño de las tareas a abordar en los propios proyectos como en su realización, ya que los expertos involucrados en el desarrollo de metodologías y capacidades en los proyectos, forman parte del GT-OEM.

La relevancia de invertir tiempo y recursos en el diseño de un proceso OEM radica en asegurar su correcta y eficaz implementación en los años siguientes a la puesta en marcha del plan (Ehler & Douvere, 2009), además de mantener también esta inversión de su seguimiento, evaluación y revisión. Para ello y, específicamente en relación con el aspecto de cooperación transfronteriza, es necesaria la identificación de guías orientadoras e instrumentos que apoyen la planificación nacional y, en particular, una eficiente componente transfronteriza del proceso (Gómez- Ballesteros et al., 2021c). Por ello, nutrir un proceso nacional OEM a través de proyectos transfronterizos aporta resultados y beneficios como, por ejemplo, la aplicación del enfoque ecosistémico entre países colindantes proponiendo medidas coherentes (Quintela et al., 2019).

Tabla 18. Objetivos y resultados de los proyectos transfronterizos en el proceso OEM en España. Fuente: Dirección General de la Costa y el Mar (MITERD). Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Table 18. Objectives and results of the Spanish MSP Process. Source: Directorate General for the Coast and the Sea (MITERD). Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

	Objetivos del proceso OEM en España	**Resultados de los proyectos que apoyan la consecución de estos objetivos**
General	Facilitar el desarrollo y crecimiento sostenible de los sectores marinos y el aprovechamiento sostenible de los recursos marinos, por lo que los planes deberán: • Establecer un marco que facilite el desarrollo sostenible de los sectores marítimos, con la participación de los distintos agentes tanto públicos como privados. • Ser compatibles con la consecución y mantenimiento del buen estado ambiental del medio marino, su conservación, protección y mejora, incluida la resiliencia a los efectos del cambio climático, y la salud humana, mediante un enfoque ecosistémico, así como la salvaguarda del patrimonio cultural subacuático.	• Generación de conocimiento sobre los sectores marítimos, su estructura, su forma de expresar demandas espaciales y su forma de relacionarse con la administración pública. • Generación de guías sobre la involucración de actores interesados. Desarrollo de actividades participativas con agentes tanto públicos como privados. • Desarrollo de metodologías y capacidades de análisis de impactos acumulados, herramientas esenciales para aplicar un enfoque basado en el ecosistema.
Horizontales de interés general	• Promover la conectividad, funcionalidad y resiliencia de los ecosistemas marinos a través de la consideración de la infraestructura verde marina. • Asegurar que los hábitats y especies vulnerables y/o protegidos no se ven afectados por la localización de las actividades humanas que requieren un uso del espacio marino. • Garantizar que los planes contemplen las necesidades de incremento de la superficie marina protegida en la demarcación marina y que las actividades o usos contemplados en esas zonas no comprometan su designación como áreas protegidas. • Asegurar que el conjunto de usos y actividades humanas presentes, junto con las futuras proyectadas, no comprometen la consecución del buen estado ambiental del medio marino, ni los objetivos ambientales de las estrategias marinas, definidos para el segundo ciclo de las estrategias marinas y aprobados por Acuerdo de Consejo de Ministros de 7 de junio de 2019. • Garantizar la integridad del dominio público marítimo-terrestre para su propia defensa y conservación. • Velar por que los usos y actividades futuros contemplados respeten lo establecido en la Ley 22/1988, de 28 de julio, de costas, y no comprometan los objetivos establecidos en dichas normas.	• Desarrollo de una base de datos sobre todas las AMP a nivel regional. Análisis del tipo de figuras de protección y sus planes de gestión. • Desarrollo de metodologías y capacidades para el análisis de efectos acumulados que apoyarían la consecución del buen estado ambiental del medio marino. • Desarrollo de metodologías para la identificación y valoración de interacciones tierra mar, lo que puede contribuir a generar una coherencia entre la OEM y los instrumentos legislativos en materia de costas.

	Objetivos del proceso OEM en España	Resultados de los proyectos que apoyan la consecución de estos objetivos
	• Garantizar la viabilidad de las actuaciones de interés general necesarias para proteger la integridad del dominio público marítimo-terrestre, incluidas entre otras las de estudio, acceso y explotación de las zonas de extracción de áridos a utilizar para las obras de protección costera.	
Horizontales de interés general	• Asegurar que las zonas de captación de agua para abastecimiento no albergan en sus inmediaciones usos y actividades que puedan comprometer la calidad de dichas aguas. • Asegurar que los vertidos tierra-mar se realizan de modo que no comprometen el desarrollo de actividades humanas en las aguas costeras receptoras. • Generar conocimiento científico.	• Desarrollo de metodología para identificación y catalogación de interacciones tierra-mar que ayuden a evitar estos conflictos. • Los proyectos son en sí fuente de conocimiento no solo en materia de metodología para la OEM pero también en relación a toda la información de base que requiere el propio proceso.
Horizontales multisector	• Minimizar y en la medida de lo posible eliminar los conflictos entre usos. • Facilitar la coexistencia de usos y actividades. • Identificar, y potenciar en la medida de lo posible, las sinergias entre usos y actividades. • Considerar las interacciones tierra-mar como un elemento más a evaluar en el seguimiento de los planes de ordenación. • Mejorar la coordinación entre administraciones competentes en materia de ordenación de los usos y actividades del espacio marítimo. • Mejorar la cooperación y la involucración de todos los agentes interesados en el ámbito marítimo.	• Primera aproximación al tipo de conflicto que se pueden dar y los sectores afectados a nivel nacional y transfronterizo. • Primera aproximación a la coexistencia entre usos y actividades a nivel nacional y transfronterizo. • Desarrollo de metodología para identificación y catalogación de interacciones tierra-mar para su integración en los POEM. • Creación de vínculos profesionales entre instituciones y personal involucrado en los proyectos, así como en el proceso nacional. • Desarrollo de consultas informales y talleres de participación con agentes a nivel transfronterizo que involucraban a actores interesados del proceso nacional. •

La importancia de estos proyectos piloto radica en su utilidad como laboratorios dedicados a construir capacidades técnicas necesarias para asegurar la apropiada implementación de la DOEM, adaptados según su contexto geográfico, a las distintas realidades de las DM españolas, de modo que los resultados obtenidos deberán apoyar y podrán ser implementados en el proceso nacional. De manera general, los procesos OEM nacionales pueden beneficiarse de los proyectos transfronterizos en diferentes aspectos (Figura 78), como son la mejora de la gobernanza; identificación y recopilación de la mejor información científica disponible y la escala de análisis adecuada; puesta a punto de instrumentos comunes para implementar el POEM en

cada país; elaboración de guías para las interacciones tierra-mar, así como para la resolución de conflictos potenciales; diseño de hojas de ruta para asegurar la compatibilidad y la coexistencia de actividades; identificación de regulaciones que podrían incluir la prohibición de algunos usos y actividades en algunas áreas; y la priorización de usos y actividades en las áreas de estudio.

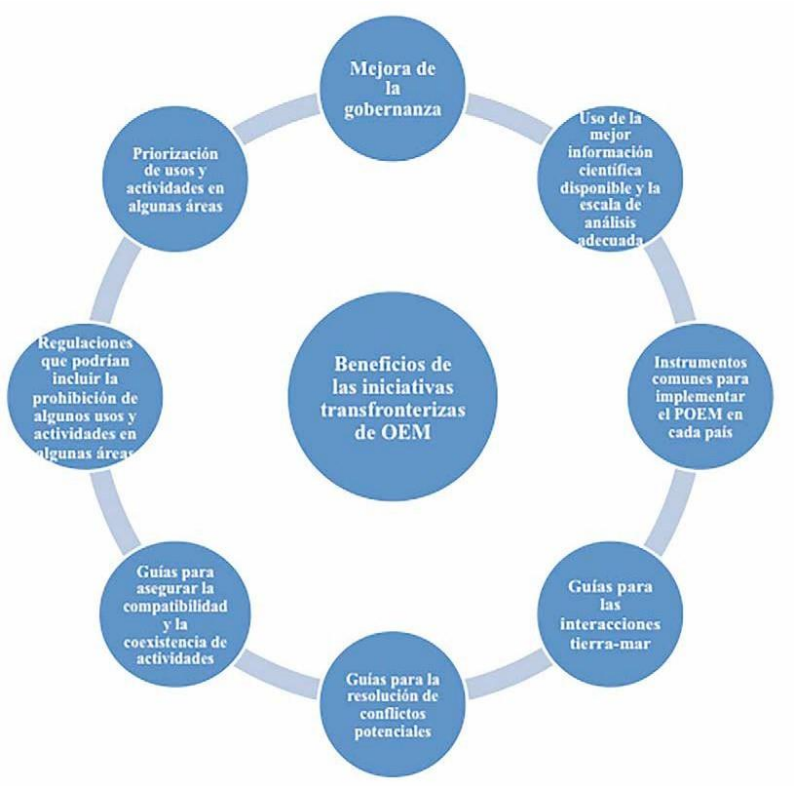


Figura 78. Beneficios de los proyectos transfronterizos en el proceso nacional OEM. Fuente: Jay & Gee, 2014; U, 2017. Elaboración propia: Instituto Español de Oceanografía.

Figure 78. Benefits of cross-border projects in the national MSP process. Source: Jay & Gee, 2014; EU, 2017. Own elaboration: Spanish Institute of Oceanography.

Además, existe otra serie de resultados de implementación directa sobre los POEM, que no se han identificado de manera global en todos los proyectos, pero sí de manera particular en muchos de ellos, como son:

- Puesta en común de los usos y actividades de la zona.
- Identificación de los actores socioeconómicos relevantes y el establecimiento de redes de trabajo para involucrarlos durante el proceso de OEM.

- Definición de posibles escenarios de conflicto, sinergias y vacíos encontrados para los sectores marinos.
- Identificación de cuestiones prioritarias para la cooperación transfronteriza.
- Implementación y fomento de las buenas prácticas en las actividades marinas.

Aplicando el concepto de la OEM basado en el desarrollo de las actividades marítimas considerando la preservación y conservación de los ecosistemas (Ansong et al., 2017), son también numerosos los beneficios de un proceso transfronterizo, que permite analizar y proteger un ecosistema en conjunto que sea compartido entre varios países colindantes (Quintela et al., 2019). Además, se pueden identificar y aprovechar las sinergias para un mismo sector marítimo que comparta fronteras, minimizando de este modo los conflictos entre países vecinos y evitando que se produzcan en un futuro. Una gobernanza marina transfronteriza más eficiente logra una mayor coherencia en los POEM si es aplicado en una etapa temprana del proceso OEM, además, esto puede dar lugar a procedimientos de planificación coherentes entre países como los procesos de evaluación ambiental estratégica, o reducir los costes en la recopilación de datos y costes jurídicos, administrativos y de oportunidad de los sectores (IOC-Unesco & DG MARE, 2019). Simultáneamente, puede fomentar el desarrollo de usos innovadores, sostenibles y emergentes adoptando un enfoque de conjunto mediante la agrupación de conocimientos, recursos y permisos o autorizaciones de actividades marinas, tratando siempre de salvaguardar el espacio oceánico y la disponibilidad de recursos marinos para las generaciones futuras y asegurando tanto el uso eficiente del espacio como la posible coubicación de los usos marítimos entre países.

6.5. Resultados y discusión

Las lecciones aprendidas de los proyectos piloto en los que España ha participado han supuesto una mejora de las capacidades actuales para implementar la DOEM a nivel nacional, y estos resultados contribuyen de manera parcial en diferentes ámbitos de aplicación de la DOEM como son las interacciones tierra-mar, la escala espacial de los planes, la gestión de datos y la participación de los actores interesados, principalmente.

La gestión de usos y actividades marítimas y recursos marinos no pueden ser disociados de los procesos de las zonas costeras y viceversa. Muchas actividades marítimas necesitan instalaciones de apoyo en tierra, como las actividades portuarias.

Algunos usos mayormente en la tierra (p. ej., turismo, recreación, puertos, etc.) expanden sus actividades en el mar también. Estas interacciones necesitan ser estudiadas, para asesorar sus impactos individuales y acumulados y conflictos y sinergias potenciales (Sousa et al., 2019). Varios proyectos, como SIMNORAT y SIMWESTMED, han desarrollado metodologías para identificar y catalogar interacciones tierra-mar para así ser integradas en el proceso de OEM. De aquí se reporta un beneficio directo de los proyectos piloto sobre los procesos nacionales, en los que las autoridades competentes en muchas ocasiones no disponen de metodologías o herramientas desarrolladas y testadas a la hora de formular y aplicar los POEM.

Otras de las cuestiones identificadas en los casos piloto de los proyectos transfronterizos ha sido la problemática derivada de la escala de los planes. En un plan se debe tener en cuenta la escala ecológica y la escala social o de gestión, ya que la consecuencia de las discordancias entre ambas puede llevar al fracaso del plan (Cumming et al., 2006). Por tanto, los límites del análisis no deben estar restringidos a la escala de gestión, sino desarrollando un enfoque anidado, lo que implica no una sola escala, sino múltiples escalas adaptadas a las diferentes fases del proceso de implementación de la OEM (Dilasser et al., 2019). Es la apropiada articulación de estas escalas través de todo el proceso lo que será el objeto de reflexión.

En todos los proyectos llevados a cabo se ha realizado un trabajo específico referido a la disponibilidad de los datos. Para poder establecer los objetivos del plan, es necesario realizar no solo un inventario de usos y actividades, sino además, una caracterización ambiental del medio marino y sus servicios ecosistémicos (Hein et al., 2006; Ansong et al., 2017). La problemática a la que se enfrentan los países vecinos cuando han de trabajar conjuntamente en un área transfronteriza, normalmente empieza por la falta de armonización en sus bases de datos. Dentro del marco de los proyectos piloto transfronterizos se ha avanzado en este sentido, desde las primeras experiencias en el proyecto TPEA, en el cual se optó por realizar una recopilación exhaustiva de todos los datos relativos y necesarios para el desarrollo de un plan. Esta es una cuestión importante, es necesario realizar un ejercicio previo e identificación de cuáles van a ser los datos necesarios y relevantes e identificar sus fuentes, y no invertir tiempo en la recopilación masiva de información. En este proyecto se realizó un visor de datos marinos alojado en el servidor local del Instituto Español de Oceanografía (http://barreto.md.ieo.es/tpeaviewer), a partir de toda la información espacial recopilada en el Golfo de Cádiz, tanto de las aguas españolas como de las aguas portuguesas. Este ejercicio consumió mucho tiempo en la armonización y estandarización de los datos de ambos países a fin de poder hacer capas de información continuas. Sin embargo, en los últimos proyectos llevados a cabo, como

SIMNORAT o SIMWESTMED, se optó por la creación de geoportales a partir de Infraestructuras de Datos Espaciales (IDE) basadas en servicios web (SIMNORAT C1.3.3, 2019), en las cuales los datos no son almacenados en servidores locales, sino que vienen directamente de las IDE de los proveedores a través de procesos de *harvesting*. Esta solución parece ser la mejor solución actualmente para compartir datos entre diferentes países (Abjean & Carval, 2019; Jarno & Carval, 2019). Aun así, queda mucho trabajo por realizar en este sentido y en la estandarización de un modelo de datos para la PEM que con bases de datos armonizadas e interoperables, podría ser una solución a futuro que los países tendrían que implementar, al menos en la UE, para el segundo ciclo de sus planes. Para ello, los diferentes EM se han organizado en un grupo de trabajo cuyo objetivo es la búsqueda de soluciones comunes, como podría ser el desarrollo de un modelo de datos estandarizado.

Otra componente importante abordada durante los diferentes proyectos piloto ha sido la involucración de los actores interesados, fundamental en el proceso de toma de decisiones y que da legitimidad a los POEM que serán socialmente más aceptados cuando sean implementados. Los mecanismos aplicados para obtener esta participación activa de todos los actores interesados son un componente primordial en el proceso, y debe ser integrado desde las primeras fases del proceso (Hein et al., 2006; Ehler & Douvere, 2009; Jay et al., 2016). Un mecanismo mixto basado en la realización de entrevistas semiestructuradas y la realización de talleres grupales transfronterizos de diferentes temáticas fue probado en el proyecto SIMNORAT (Gómez-Ballesteros et al., 2021c). Esta metodología permitió tener un primer contacto directo e individual con los actores de diferentes sectores marítimos en los que se analizaba, entre otras cosas, su conocimiento sobre el proceso y sus expectativas. Posteriormente su participación en los talleres, incorporó el enfoque sectorial a una discusión transfronteriza específica, con el consiguiente intercambio de información y perspectivas de un mismo sector en distintos países, y el asentamiento del conocimiento sobre el proceso en el agente en cuestión. La mejora de herramientas para la participación de actores interesados es necesaria no solo para mejorar el sentido de pertenencia del plan, que es necesario para tener en cuenta las necesidades de comunidades locales concretas y demandas de sectores económicos marinos, sino también para conseguir datos de los actores interesados y ayudarlos a entender las limitaciones de cada sector marítimo y la dificultad de negociar y mitigar conflictos, así como conocer vacíos de información (Ehler & Douvere, 2009; Henry et al., 2019; Gómez Ballesteros et al., 2021c).

La cooperación entre instituciones administrativas y técnicas es importante pero también es necesario alentar los intercambios entre actores interesados a través de

las fronteras. Para sensibilizar sobre los objetivos de OEM e informar sobre los procesos nacionales en curso. Además, permite a las administraciones capturar las principales expectativas y críticas expuestas por los actores interesados. En alguna ocasión (Marques et al., 2019c), los propios actores interesados han propuesto la creación de comités transfronterizos de gestión para cuestiones particulares como pueden ser la gestión de un área marina protegida transfronteriza.

De manera general, los resultados de los proyectos transfronterizos han servido para apoyar la consecución de determinados objetivos del proceso OEM en España, que exponen en la Tabla 18.

OPORTUNIDADES Y DESAFÍOS IDENTIFICADOS

El objetivo más directo de cualquier POEM es el de identificar zonas para desarrollar actividades evitando conflictos con otras actividades y asegurando la salvaguarda del buen estado ambiental del medio marino. Este proceso de zonificación debe basarse en un conocimiento sólido de la distribución presente y futura de las actividades y usos junto con una buena comprensión de las funcionalidades de los ecosistemas. Además, la comprensión de cómo los seres humanos y los componentes ecológicos del sistema interactúan es crucial. Esto se refiere tanto a la interacción entre las propias actividades (conflictos o sinergias) y entre usos y medio ambiente (presiones e impactos). En diferentes proyectos se han desarrollado actividades de análisis acumulados de presiones que pueden nutrir este tipo de proceso de zonificación. Estas actividades han identificado también las principales lagunas existentes, así como las oportunidades que se podrían derivar de suplirlas. Por ejemplo, en el proyecto SIMNORAT se llevó a cabo el análisis de impactos acumulativos entre España y Francia en el golfo de Vizcaya. De este análisis se obtuvieron lecciones aprendidas en beneficio de ambos países, como es la metodología común a través del uso de la herramienta Carpe Diem (Gimard et al., 2019), desarrollada y ya utilizada en Francia para la interacción entre usos y actividades y el medio ambiente pelágico (Bliard et al., 2019). Sin embargo, existen desafíos aún identificados en relación a la falta de datos de algunas temáticas o las diferentes escalas de la información que puede tener cada país.

El hecho de que en muchos de los países europeos vecinos, como Portugal, Francia o Italia, se haya establecido una conexión entre la implementación de la DMEM con la DOEM es una ventaja a la hora de establecer una coherencia entre planes (p. ej., indicadores, objetivos...). Sin embargo, las diferencias en las fases de

implementación podrían llegar a ser un inconveniente a la hora de alinear ambos procesos en los diferentes países.

La mejora de la coordinación entre las diferentes administraciones es una necesidad, la distribución de competencias entre los diferentes departamentos debe ser revisada para mejorar la coordinación y cooperación entre departamentos que normalmente trabajan independientemente unos de otros (Ehler & Douvere, 2009). Considerando la naturaleza transfronteriza de los recursos y actividades marinas y la importancia de la colaboración transfronteriza entre países vecinos, las convenciones regionales (OSPAR, 1992) son plataformas eficientes para alentar y facilitar un enfoque regional para la PEM, y proveer unas perspectivas regionales en cooperación a través de las fronteras, lo cual es crítico para el desarrollo sostenible (Marques et al., 2019a y 2019b). Además, estas plataformas actúan como impulsoras de las estrategias de cuencas marinas, contribuyendo al éxito de la PMI y promoviendo la OEM como herramienta. Es necesario tener en cuenta ambas, la coordinación horizontal (entre políticas sectoriales) y la vertical (entre diferentes niveles de gobernanza), y desarrollar estándares comunes entre países vecinos adoptando un marco normativo común, así como la cooperación y coordinación entre los diferentes niveles de toma de decisiones.

Los datos espaciales deben ser gestionados siguiendo guías comunes para la PEM para sobrellevar los fallos de interoperabilidad encontrados, además, las numerosas fuentes deberían ser centralizadas. Los trabajos desarrollados en diferentes proyectos, como SIMNORAT y SIMWESTMED, evidencian la necesidad de desarrollar un modelo de datos común para la OEM para mejorar la cooperación y el intercambio de datos a nivel transfronterizo.

Es esencial mejorar y alentar el dialogo ciencia-política para incrementar el desarrollo de políticas basadas en el conocimiento científico, que es básico para ser capaz de garantizar el buen estado ecológico de los ecosistemas y los servicios que provee el medio marino (Abjean & Carval, 2019; Gómez-Ballesteros et al., 2021c).

La OEM no debería limitarse a ser una descripción pasiva de la dinámica evolutiva de un área marina y sus actividades, sino que conlleva la aplicación activa de ciertos principios y medidas para llegar a un futuro deseado previamente seleccionado (Ehler & Douvere, 2009). La identificación de usos y actividades futuros realizada a través de la proyección de tendencias de crecimiento presentes, es una de las formas de representar cómo se vería el futuro del área marina si no se aplica ninguna medida que modifique esas tendencias. Serviría para decidir si es ese el futuro de-

seado para el área y, de no ser así, diseñar medidas para que esa visión futura se pareciera más a la imagen que deseamos para nuestra área marina. Varios proyectos han abordado la cuestión de la identificación de demandas espaciales a futuro, como SIMNORAT o SIMWESTMED, sin embargo, existen grandes dificultades en este sentido para muchos sectores excepto en algunos sectores particulares (como los hidrocarburos). La falta de planificación estratégica o sectorial en los sectores por sí mismos ha sido una de las principales causas identificadas. Además, otro obstáculo importante son las dificultades en la búsqueda de datos en relación a la organización de estos sectores socioeconómicos y en encontrar información fiable y de buena calidad en tendencias sectoriales.

Un sector estructurado y organizado es un factor facilitador de la expresión de las demandas porque permite ser fácilmente representado en los organismos de consulta. El análisis de las visiones de los representantes de los sectores en relación a las tendencias de sus sectores podría proveer de elementos de contexto sobre las demandas espaciales específicas e identificar obstáculos u oportunidades condicionando su evolución (evolución tecnológica, voluntad política, marco regulatorio, etc.).

CAPACITACIÓN Y FOROS DE DISCUSIÓN

A través de los diferentes proyectos piloto europeos o iniciativas que se relacionan con la OEM expuestas en este artículo, los países pueden beneficiarse de acciones de capacitación o talleres en los que puedan participar que sirvan, por un lado, para formar a los agentes participantes en los procesos de OEM, así como, por otro lado, usar los talleres como foros de debate para que puedan ayudar en el proceso nacional. Uno de los beneficios de la aplicación de estas iniciativas de capacitación es la incorporación en el proceso de terceros países, evitando que sea sólo para países europeos.

En este contexto, por ejemplo, el proyecto MSP-MED organizó un taller para que los países intercambiaran información sobre los diferentes enfoques llevados a cabo para el análisis de interacciones tierra mar en los procesos nacionales de planificación. El objetivo era capitalizar sobre otras experiencias y establecer una base para la consulta transfronteriza abarcando las interacciones tierra-mar.

También se han llevado a cabo formación *ad hoc* al proceso nacional por la iniciativa MSPglobal, a través de cursos presenciales y dirigidos a los agentes interesados a nivel administrativo, y que en España generó un mayor entendimiento sobre la OEM, sus beneficios y los resultados esperados, así como una mayor involucración en el

proceso y la oportunidad de discutir sobre la economía azul sostenible en el contexto nacional.

A través de la iniciativa BlueMed, también se están realizando cursos de capacitación sobre «Interacciones entre la sociedad y la política científica en la gestión y planificación de los recursos marinos basados en los ecosistemas», lo que permite ampliar conocimiento para la toma de decisiones en el ámbito de la OEM aplicando el concepto de enfoque ecosistémico.

6.6. Conclusiones

En relación a la mejora de la gobernanza, estos proyectos han puesto de manifiesto la necesidad de que las instituciones involucradas tienen que ser las mismas que están participando en el proceso de ordenación a nivel nacional, para que los resultados de estos tengan una eficacia real en los procesos de OEM en los diferentes países.

Además, se ha evidenciado que los proyectos transfronterizos sirven de motor para la activación de negociaciones transfronterizas, estableciendo un primer contacto informal entre las instituciones involucradas a diferentes niveles. Al mismo tiempo suponen la base para la creación de grupos de trabajo transfronterizos sobre temas específicos o usar grupos ya existentes aportando un valor añadido. Muchos actores interesados consideran que los proyectos europeos promueven el intercambio de experiencias entre países vecinos e inician reuniones e iniciativas con un enfoque común.

Estos proyectos han ayudado a agilizar la coordinación y cooperación entre las diferentes administraciones dentro del país, ya que el personal involucrado ha trabajado en ellos conjuntamente, estableciendo vínculos profesionales que trascienden el marco del proyecto en sí. Además, en el caso de España, el proceso nacional se nutre de la información proveniente de 16 Direcciones Generales de la AGE y centros de investigación con competencia en el medio marino, lo que abarca un gran abanico de representantes de los distintos sectores marinos que amplían la información y apoyo al proceso nacional en su representación en diferentes grupos de trabajo nacionales e internacionales propios a su competencia.

Estas iniciativas transnacionales sacan a la luz el potencial de un trabajo técnico compartido, en términos de identificación de equipos técnicos y científicos en y entre los países, la identificación de necesidades comunes, las oportunidades para cubrir lagunas de conocimiento en datos o metodologías en ciertas áreas o países, o

el intercambio y desarrollo de métodos comunes de análisis para responder a requerimientos o necesidades administrativas específicas. Para ello, la creación de foros técnicos transfronterizos en el seno de los proyectos que generan un contexto facilitador de discusiones que a otros niveles más formales no sería tan fácil, implica la mejora de la comunicación entre los propios países en distintos niveles de discusión, que podría a su vez ayudar en la gobernanza de las políticas sectoriales transnacionales.

En cuanto a la gobernanza y la implicación de actores interesados, combinar herramientas formales e informales es fundamental. Los procesos OEM muchas veces son coordinados a nivel nacional o regional, y sin embargo tienen impactos a nivel local. El establecimiento de guías de buenas prácticas para las actividades marítimas y costeras, avaladas por los gobiernos de las diferentes administraciones a cargo del proceso OEM y por los gobiernos locales puede mejorar el sentimiento de pertenencia del plan (empoderamiento), y por tanto su implementación.

Abordar la gestión y gobernanza de nuestros océanos considerando tanto los cambios naturales como presiones antropogénicas es un reto de la sociedad actual y de sus gobernantes. Desde luego, este reto no podría ser afrontado sin una base de conocimiento científico sobre el funcionamiento de unos sistemas dinámicos y globales como son los océanos y sus ecosistemas. Por ello, la generación de nuevo conocimiento científico es fundamental para establecer las bases que ayuden a la toma de decisiones y gestión sostenible del mar y sus recursos. Estos proyectos transfronterizos, en los que han estado involucrados tanto científicos como planificadores y autoridades, han demostrado los beneficios del diálogo entre ciencia-política.

Por último, sobre financiación para el proceso nacional OEM, actualmente este se beneficia de forma indirecta de fondos europeos a través de proyectos piloto como MSP-Med y SIMAtlantic, donde los paquetes de trabajo permitirán llevar a cabo acciones de cooperación internacional y de generación de guías y metodologías que seguirán nutriendo el proceso nacional. Pero es necesaria la adopción de una perspectiva a largo plazo en el proceso OEM, donde la obtención y aplicación de financiación estatal o internacional para el proceso puedan garantizar su eficacia, especialmente en el seguimiento y evaluación a futuro de los POEM por cada DM.



CAPÍTULO 7

Transboundary cooperation and mechanisms for Maritime Spatial Planning implementation. SIMNORAT project

Pasajes - Gipuzkoa (Foto: José Antonio Gil)

TRANSBOUNDARY COOPERATION AND MECHANISMS FOR MARITIME SPATIAL PLANNING IMPLEMENTATION. SIMNORAT PROJECT

Este capítulo es una versión editada del artículo de investigación publicado en *Marine Policy, 127*, por M. Gómez-Ballesteros, Cristina Cervera-Núñez, Mónica Campillos-Llanos, Adriano Quintela, Lisa P. Sousa, Márcia Marques, F. L. Alves, C. Murciano, Neil Alloncle, P. Sala, A. Lloret, Ana Paula Simão, Ana C. Costa, D. Carval, Danis Bailly, Cécile Nys, H. Sybill y Julien Dilasser. en 2021 con el título «Transboundary cooperation and mechanisms for Maritime Spatial Planning implementation. SIMNORAT project». https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104434

Abstract

Maritime Spatial Planning (MSP) is gaining importance as a new process for the governance of seas and oceans, as maritime nations exercise greater management over their territorial waters and, in many cases, over exclusive economic zones that span a larger area. The purpose of this planning is to reverse the environmental degradation of the seas and facilitate the sustainable use of marine resources, both for mature uses such as fishing and navigation, and for emergent uses, including renewable energies and mariculture. In Europe, the Directive 2014/ 89/EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 establishing a framework for maritime spatial planning oblige coastal Member States to develop maritime spatial plans at the latest by 31st March 2021. To help in that process, countries have at their disposal a set of existing instruments, including research projects, supporting guidelines, recommendations and sets of tools and data, as the SIMNORAT project, co-funded by the EC – DG Maritime Affairs and Fisheries (DG MARE). This paper presents best practices developed in this project on technical, scientific, and social aspects of MSP to overcome barriers of MSPD implementation testing effective cooperation on transboundary areas and providing a set of cross-cutting MSP related recommendations to foster collaborative efforts and to improve the overall transboundary dimension of the MSP Directive.

Keywords: Marine Spatial Planning, cross-border cooperation, stakeholders, transboundary effects, SIMNORAT project

7.1. Introduction

In order to maintain the major functionalities of marine ecosystems, it is essential to adopt a definition of clear rules for access to resources and spaces, and consider the environmental, social and economic aspects of the planning process (Douvere, 2008; EU, 2014; Jay et al., 2016). Increasing the demand of marine resources and development of human activities in the marine realm is resulting in more pressures on the ecosystems and competition and conflicts between marine users, therefore, new management models are needed. Identification of synergies, transnational coordination and coordinated actions are fundamental to progress towards an efficient Maritime Spatial Planning (MSP) management approach in order to solve conflicts and promote multiple uses and activities. On the other hand, ecosystem-based management (EBM) is an approach "based on a particular area defined by the location of a given ecosystem" (Queffelec, 2013), highlighted as an important underlying principle to plan maritime space. MSP can balance maritime activities and foster cross-border cooperation while developing a new scheme of multilevel governance, defining and applying legislation and coordination between the different administrative levels of management. As MSP analyses and allocates the spatial and temporal distribution of human activities at sea, it is a fundamental tool towards the sustainable management of marine resources.

The EU Directive (MSPD) (EU, 2014) establishing a framework on MSP was adopted in 2014 and according to article 1, it aims to promote the sustainable growth of maritime economies, the sustainable development of marine areas and the sustainable use of marine resources giving the sole responsibility to Member States (MS) of implementing maritime spatial plans (van Tatenhove, 2016). Accordingly, MS have to design and prepare the format and content of the MSP plan and identify the distribution of current and future activities and uses in their marine waters taking into account their interactions. Related to article 4, MSP should be "built upon existing national, regional and local rules and mechanisms", also ensuring a public participatory process as well as cooperation between MS but also with Third Countries as established in article 6. According to the MSP Directive, MS shall ensure the involvement of stakeholders throughout the entire process, from the initial definition of objectives to the concession of access to the plans once they are finalized. To ensure that MSP is based on reliable data and to avoid additional administrative burdens, it is essential that the MS rely on the best available data and information by encouraging stakeholders to share information and using instruments and tools for data collection in order to identify spatial demands and future trends in the maritime sectors. Furthermore, in consonance with article 10 of the Directive, MS must organize

the use of the best available data and the sharing of information, necessary for maritime spatial plans. Data used may include environmental, social and economic data related to activities and uses, and marine physical data about marine waters. Moreover, MS shall make use of relevant instruments and tools, including those already available under the Integrated Maritime Policy, for example, EMODnet data portals (EMODnet), and under other relevant EU policies, such as those mentioned in the Inspire Directive 2007/2/EC (EU, 2007).

In this respect, the European Commission through the Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries (DG MARE) co-funded the project "*Supporting Implementation of Maritime Spatial Planning in the Northern European Atlantic region* (SIMNORAT)" (SIMNORAT, 2017) aimed to support the implementation of the MSPD (EU, 2014) establishing a framework for MSP in the European North-Atlantic waters, and to establish a concrete cross-border MSP cooperation between countries involved. The project area of interest corresponds to the jurisdictional waters of Portugal, Spain, and France of the OSPAR Region IV and was extended to cover the Vigo and Vasco da Gama seamounts and the Galician Bank (Figure 79). The project brought together several partners, composed by research organizations, maritime planning authorities and management bodies from France, Portugal and Spain.

In order to achieve the ambitious objectives stated above, several tasks were designed to develop methodologies and good practices and to test specific aspects that could contribute to a potential MSP process in selected cross-border areas defined as case studies.

7.1.1. Maritime Spatial Planning processes in Spain, Portugal and France: MSP state of play

MSP aims at attributing maritime space to uses while reducing conflicts, strengthening cross-sectorial cooperation and following an ecosystem-based approach "to achieve ecological, economic and social objectives" (EU, 2014). MS have the sole responsibility of transposing the Directive into their national legislation, setting up a competent authority in charge of implementing MSP. SIMNORAT project supports the associated process in Spain, Portugal and France, countries in different stages of their national MSP implementation and following different approaches.

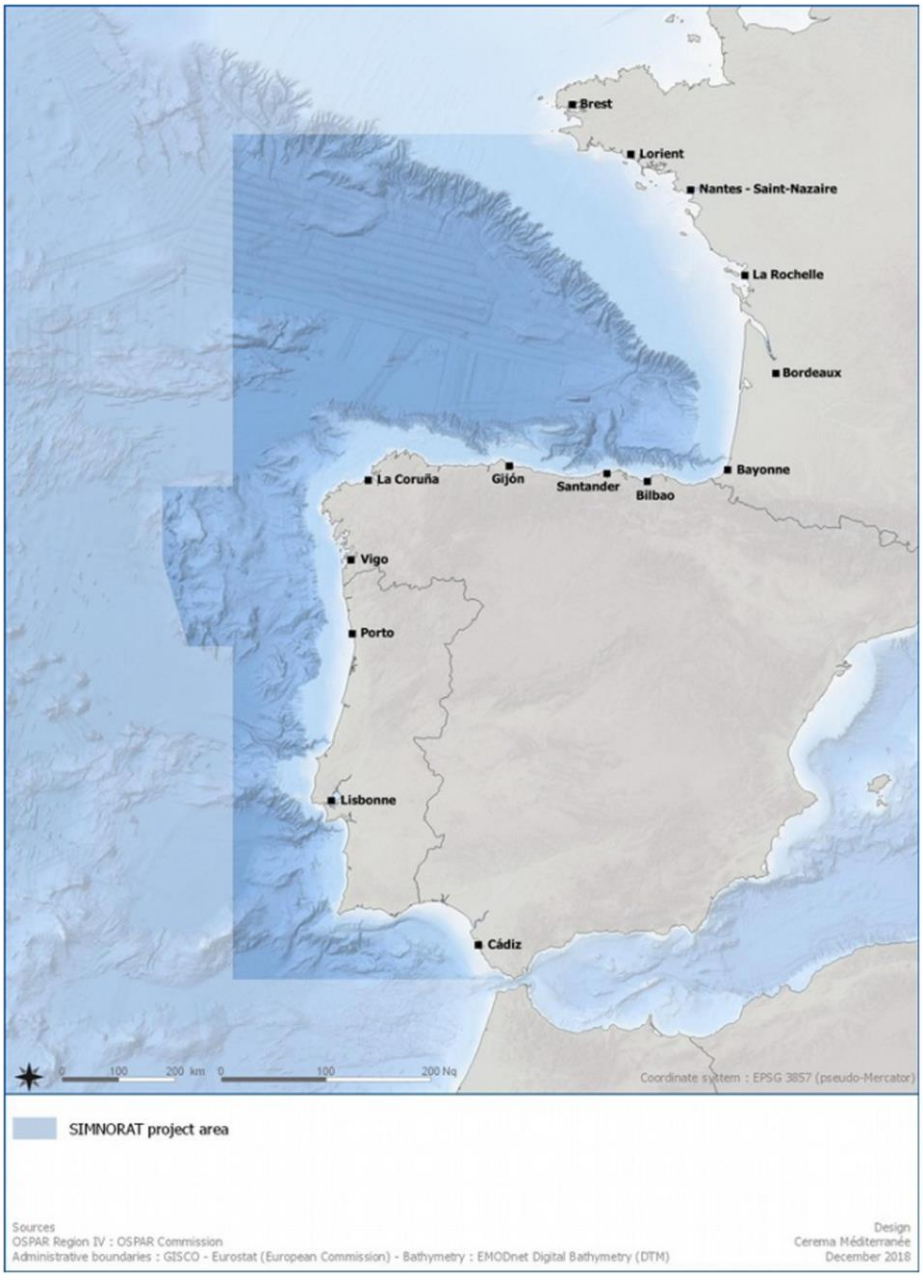


Figure 79. SIMNORAT project area (Giret et al, 2019).

MSP IMPLEMENTATION PROCESS IN FRANCE

The EU MSP Directive was transposed into the French legislative system by the Order 2016–1687 of 8 December 2016. The Ministry for the Solidarity and Ecological Transition (MSET) is the national authority responsible for its implementation, which will be divided into four sea basins and four Interregional Directorate for the Sea, respectively dealing with Eastern channel and North Sea; Northern Atlantic;

Southern Atlantic and Mediterranean Sea (SFPD) basins. The law indicates the *Strategic Façade Planning Documents* as the main tools for MSP implementation, under the authority of a couple of regional and maritime Coordinating Prefects. These documents unite strategically Marine Strategy Framework Directive (MSFD) and MSPD implementations. Currently, SFPD are being reviewed nationally and internationally to be edited. The strategic part of the Eastern channel and North Sea and Northern Atlantic SFPD has been approved by inter-prefectoral orders in the September 2019.

MSP IMPLEMENTATION PROCESS IN SPAIN

In Spain, the Royal Decree 363/2017 of the 8 April established a national framework for MSP. Besides, the Spanish Law 41/2010 put down the principles for planning the marine environment through the implementation of Marine Strategies. The national authority in charge of MSP is the Ministry for the Ecological Transition and Demographic Challenge (MTERD), General Directorate of the Coast and the Sea. It will develop Strategic Documents for five areas of planning: Northern Atlantic; Southern Atlantic; Canary basin; Strait and Alboran; Levantine and Balearic. The Law 41/2010 created the Interministerial Commission of Marine Strategies under which was created the MSP-Working Group for the MSP national process. Moreover, the knowledge and data to be used in the Maritime Spatial Plans will be produced by the research conducted under the Marine Strategies program. Till date, no Maritime Spatial Plans have been approved or implemented in Spain, however a first draft of the 5 plans have been launched for public consultation in the framework of the Strategic Environmental Assessment (SEA) required by the Directive 2001/42/EC of the European Parliament and of the Council of 27 June 2001 on the assessment of the effects of certain plans and programmes on the environment.

MSP IMPLEMENTATION PROCESS IN PORTUGAL

Portugal started by developing its National Strategy in 2008 and released its *Plano de Ordenamento do Espaco Maritimo* (POEM) in relation to MSP, initiated by Ruling No. 32277/2008. Portugal is following its National Ocean Strategy 2013–2020 targeting a sustainable development of the economic sectors related to the ocean, and giving Portugal the opportunity to pursue promotion and increase growth and competitiveness in its maritime economy. The Portuguese MSP fundamental Law No. 17/2014 on maritime spatial planning and management was approved in April 2014 and was enabled in legislation through the Decree-Law No. 38/2015, in March 2015. The Ruling No. 11494/ 2015 established the beginning of the preparation and development of the Situation Plan (PSOEM) in 2015, currently commits the

elaboration of the plan to the Directorate General for Natural Resources, Safety and Maritime Services (DGRM) in the Mainland and Extended Continental Shelf subdivisions. For the two autonomous islands, the competent authorities are the Sea Regional Directorate (DRM) of the Madeira Regional Government and the Regional Directorate for Maritime Affairs (DRAM) of the Azores Regional Government. The plan for the Mainland, Madeira and extended continental shelf was approved in December 2019 by the Resolution of the Council of Ministers No. 203-A (2019) (Fernandes et al, 2020).

7.1.2. Major steps for transboundary cooperation: overview of MSP directive implementation process with special focus vertical and horizontal coordination

According to the description presented in the previous section, we can resume that MSFD and MSPD implementations are somewhat related in the three countries of the project. The monitoring action plan of the formal process of MSP in Portugal, regarding ecologic and biologic issues is based on the MSFD implementation process. In Spain, the MSP process is aligned with MSFD as in France, where a strategic document has been developed joining both processes for each planning subdivisions. In two of the three MS the same national competent authority is responsible for the implementation of the four EU directives: MSFD, MSPD, and Conservation of Natural Habitats and of Wild Fauna and Flora Directive (Habitats Directive) (EU, 1992) and the Conservation of Wild Birds Directive (Birds Directive).

Regarding another kind of coordination, it is necessary to undertake an analysis focusing in the expectations and positions of regional authorities in relation to MSP as they can be key actors for a successful implementation of this Directive at local and cross-border areas. Apart from coherence and coordination with sectorial policies (i.e. MSFD-MSP) there must be coordination and collaboration between the different levels of governance, local, regional and national to ensure compliance with the Directives. This is the case of the management of coastal waters, where the greatest development of maritime uses and activities is gathered in the first nautical miles, concentrating the major source of conflicts in a relatively small space. It is, therefore, necessary to address these issues in coordination with regional and local authorities, depending on their competences and regulatory powers, and based on the framework established by national competent authorities. Moreover, consideration of the land-sea interface in planning processes must be integrated by ensuring a continuum between planning exercises on land and at sea. The role of regional authorities is therefore important, as, in addition to exercising their regulatory powers, they

play a role in seeking consensus between local stakeholders concerning the definition of areas for the development of certain activities.

These same issues may arise in cross-border areas, where each state may have different objectives. Conflicting interests should be identified in a MSP process in terms of potential transboundary issues to describe sensitive areas. Regional authorities in these cases can also be facilitators in creating links with other stakeholders and actors in the field of transboundary implementation of the MSDF, MSP, Birds and Habitats Directives.

7.2. Objectives

The mission of SIMNORAT project was never to build a plan for the entire area of the project but to develop and test aspects of the MSP process in order to produce useful guidelines and recommendations for MSP Competent Authorities of the countries involved. SIMNORAT project objectives are practitioner focused, and look to identify and share best practice on technical (e.g. data management), scientific (e.g. EBM), and social (e.g. stakeholder engagement processes) aspects of MSP implementation to overcome barriers of the MSP Directive implementation and effective cooperation on transboundary areas. To address these objectives, several methodological approaches have been developed to focus on conflicts and synergies identification, future trend analysis and stakeholder engagement mechanisms, through the development of different tasks and case studies:

- Literature review on the most appropriate geographical scale for MSP at national level.
- Analysis of the integration of Marine Protected Areas (MPAs) in the context of MSP.
- Analysis of data needs and existing gaps and the development of a data management methodology.
- The role of the regions in MSP.
- The definition and application of MSP by the OSPAR convention.
- Coordination of sectorial policies.
- Stakeholder perception on Maritime Spatial Planning.

- Spatial demands and future trends for maritime sectors.
- Bay of Biscay case study – Mapping exposure risk of marine megafauna to concomitant pressures.
- Crossborder MPA Galicia Bank - Vigo and Vasco da Gama seamounts. The development of these activities allowed the definition of common operative tools, as common system for storing, visualizing and managing geographical data, an analysis of uses and activities spatial demands focused on the way that sectors are organized; the identification of key stakeholders and testing of participative mechanisms; the definition of case study areas, boundaries and scale, ensuring connectivity between ecosystems accordingly to the EBM approach.
- Develop and propose a conceptual methodology for transboundary MSP in the Northern Atlantic.

The tasks mentioned above were carried out to achieve the objectives of the project, but not all of them will be addressed in this paper, which focuses only on those most relevant to explain the conclusions derived for the application of the Transboundary cooperation and mechanisms for Maritime Spatial Planning implementation.

7.3. Material and methods

The complexity and scope of the application of the MSP Directive leads the MS to establish, according to their governance system and their objectives, appropriate methodologies for designing their planning and stakeholders consultation processes. This section presents the methodological framework and key elements developed in the project.

7.3.1. Conceptual methodology for transboundary MSP from literature review

The transboundary cooperation required to achieve coherence among MSP processes in each sea basin is crucial but also a challenging mission. The first step in the project was to design a conceptual framework to examine the methodological aspects of the ongoing MSP processes of the countries and to discuss the major barriers and bottlenecks when addressing the operationalization of MSP Directive principles and guidelines, specifically at transboundary level.

Accordingly to the literature review (Ehler & Douvere, 2009; Coleman et al., 2011; Stelzenmüller et al., 2015; Domínguez-Tejo et al., 2016; Ansong et al., 2017; Pınarbaşı et al., 2017) and case studies in other projects (such as Transboundary Planning in the European Atlantic [TPEA, 12], BaltSeaPlan [Schultz-Zehden et al., 2008], Preparatory Action on Marine Spatial Planning in the North Sea [MASPNOSE, 2012] and ADRiatic Ionian maritime spatial PLANning [ADRIPLAN, 2015]), major steps in MSP process were classified linked to the ecosystem based approach (EBA) in a transboundary context: Pre-planning; Analysis; Planning; Implementation; Monitoring; Evaluation; and Stakeholder engagement and Communication throughout the entire process (Figure 80).

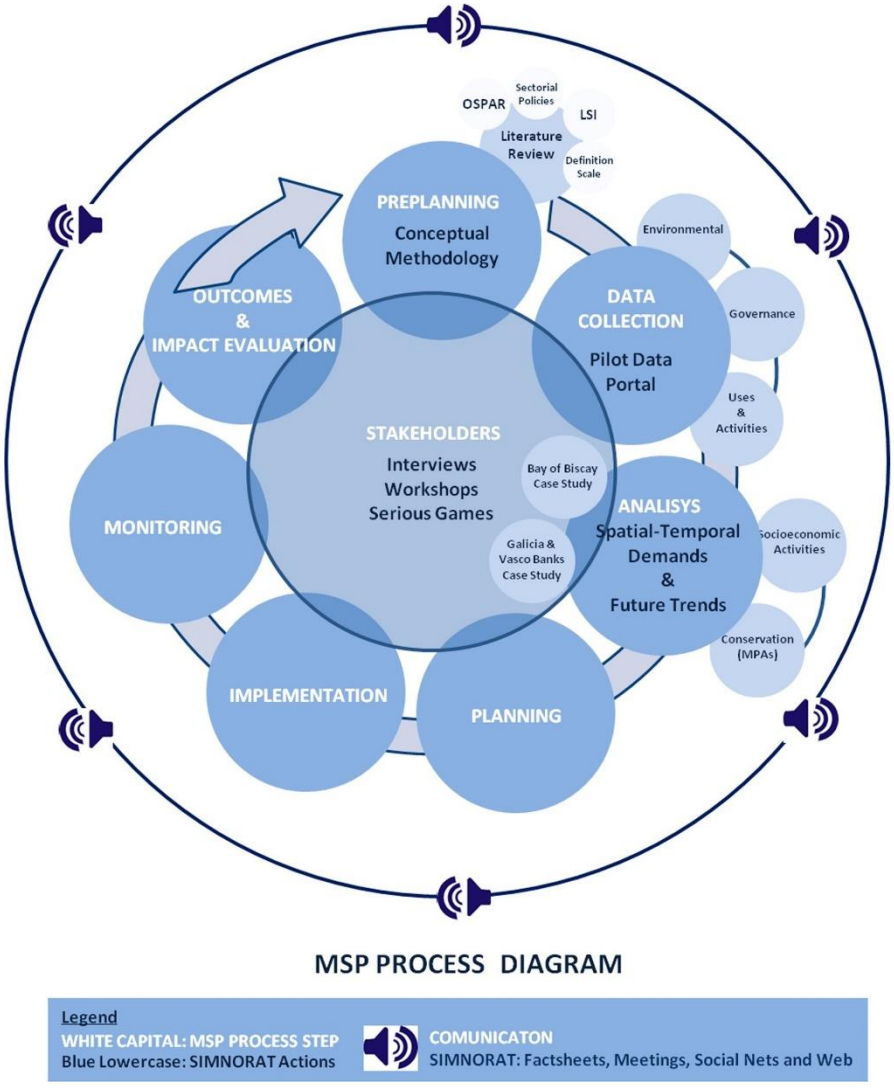


Figure 80. The MSP process diagram defined in the context of SIMNORAT project, after reviewing the ones seven different steps of MSP, and the actions carried out.

A SWOT analysis was undertaken to identify the strengths, weaknesses, opportunities and threats, which was based on Karppi (2001) for each step defined having in consideration the visions of each of the partner's countries. The results of the SWOT analysis are delivered in the Discussion section.

Agreeing this classification, the project planning was designed considering the objectives postulated. The white capital letter in Figure 80 corresponds to the MSP process steps classification, but during SIMNORAT project only some of them could be carried out due to the objectives of the project did not include developing a plan or subsequent steps in a whole process. So, in order to be coherent with the objectives just the three first steps (blue lowercase in Figure 80) were overcome to produce useful guidelines and recommendations on technical, scientific and social aspects for MSP, especially in a transboundary context. In this sense, Figure 80 represents the project workflow agreed by the seven MSP steps and the different tasks accomplished during the project related with each step (also blue lowercase). The project results dissemination is an important aspect to reach a larger interested public, not only at the level of the countries involved in the project but also for the entire international MSP community, to share the experiences and lessons learned. Therefore, as an MSP process must be open and participatory throughout its development, during the project this communication has also been maintained through factsheets, meetings, web, and social nets.

Besides from analyzing the process itself at transboundary level, some other issues were approached at national level (i.e. to define the most appropriate scale), international level (i.e. OSPAR), sectorial (i.e. different policies and governance frameworks) and local (i.e. land-sea interactions).

To implement MSP it is necessary to define the scale of the process, however, this is not defined by the Directive and has been approached differently by each country, having even opted for a combination of different scales: national, regional and local. But, what is the most appropriate scale for their MSP plans? Do they have to define different plans based on different geographical scales? If so, what would be their articulation? If not, for instance, is it enough to carry out the plan at national or marine basin scale with some focus areas? Moreover, what would be the plan boundaries once the scale is defined? Defining the most appropriate geographic scale involves taking into account differences that may exist between ecosystem scales and existing governance, social and economic scales (Minang et al., 2015). Furthermore, this will affect the actions carried out in the plan at different stages of the process such as defining objectives, involving stakeholders, identifying demands for space

and conflicts, as well as the vulnerability of the spaces in question (Gilliland & Laffoley, 2008; Flannery & Cinneide, 2012). Therefore, in the literature review phase, an analysis of the previously existing information on this concept was carried out, to suggest principles to follow in scaling the plan, defining its boundaries and the number of plans to develop within a country, always taking into account transboundary issues.

Considering that one of the objectives of the project is the transboundary cooperation in the north Atlantic region, it is important to mention the convention for the Protection of the Marine Environment of North-East Atlantic, or OSPAR Convention (OSPAR, 1992). This does not explicitly refer to MSP, however, it calls for the need for protection of marine areas through appropriate programs and sets out common objectives and principles to which the Member States must adhere. OSPAR represents an important platform to encourage and enhance transboundary MSP due to the dynamic collaboration between Contracting Parties and the transboundary nature of the marine resources and activities. Although it does not have a direct role on MSP implementation neither a legal framework, it intends to develop appropriate measures, as guiding principles, in line with the Ecosystem Approach and to facilitate MSP in the OSPAR maritime area, taking into account the cooperation in transboundary issues arising from MSP. Additionally, it could serve as a mechanism for early transnational consultations on MSP providing region specific, tailored-made approaches to applying MSP to support Ecosystem Approach and to exchange of best practices and experiences regarding MSP.

The coordination of sectorial policies is also essential in MSP processes. The relevant sectorial policy instruments regarding MSP implementation process are key to guaranty the successfulness of the process according to national and regional obligations and policies, and the several policy instruments of the legal framework for MSP, namely the United Nations Convention on the Law of the Sea UNCLOS (UN, 1982), the Convention on Biological Diversity (UN, 1992) and the Espoo Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context (UN, 1991). Therefore is imperative to enhance the integration between all existing marine policies contributing to the improvement of the coherence among countries promoting regional knowledge exchange; coordination between and among stakeholders responsible for the implementation of policies; vertical and horizontal cooperation among administrations, technical agencies, and stakeholders and knowledge of the implications and requirements for the various sectorial policies regarding MSP.

To ensure that maritime activities can deliver growth and avoid sea-use conflicts, integrated planning of human activities both on land and at sea is needed. Most development and use, which takes place in the marine environment also has an onshore component or impact. Planners on MSP have to consider land-sea interactions (LSI) when establishing and implementing the plans, to promote an integrated and strategic vision for MSP that is coherent with land use planning frameworks and highly related to the economic benefits of MSP and the importance of given maritime uses covered by the MSP for the economic development of the region in question. The need for an integrated and strategic approach to the management of the coastal zone is evident to achieve the goals not only of the MSPD but also related to others European processes such as the Integrated Coastal Zone Management (ICZM) (Burbridge, 1999; EU, 2002; EU, 2008) recommendation, the MSFD (EU, 2008), and the Water Framework Directive (WFD) (EU, 2000).

Regarding water-related issues, the WFD and the MSFD, as illustrated in Figure 81, these two directives and the MSPD may overlap in coastal waters, requiring articulation among institutions and coherence between methods and processes.

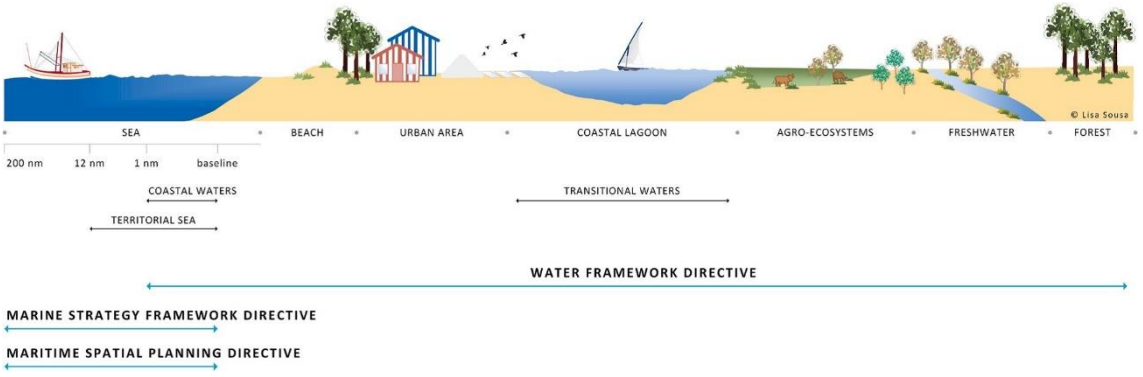


Figure 81. Spatial incidence of MSFD and WFD (Cumming et al., 2006).

In the scope of SIMNORAT project, land-sea interaction has been studied as a complex phenomenon relating to the natural processes across the land-sea interface, the interactions between uses and activities at the sea and the land, but also to their impacts and pressures on the quality or ecological dynamics of coastal and marine environments and the governance arrangements in these interface and socio-ecological systems. But nevertheless, it has not been a component approached during its development with the same intensity as other tasks.

7.3.2. Data collection and information requirements for MSP

Data use and sharing is required to implement the MSPD. In particular, to fulfil the requirement of coherence of MSP plans along sea basins, data and information sharing should be approached at transboundary level, to take into account issues of transnational nature.

Data collection and information requirements for MSP have been another aspect of the MSP process studied on SIMNORAT project. The work has focused on a technical study aiming to support access to and use of maritime spatial data in France, Portugal and Spain at regional level and has been organized differently depending on the initial, middle or final state of the project, to address the requirements of each phase. In general, it has been focused on data exchanges aspects using a Maritime Spatial Data Infrastructure and INSPIRE protocols regarding interoperability of data, metadata, data portals and Web Services.

Initially, a review of the available public and institutional data portals with relevant information in the North Atlantic basin along the maritime territories of the three involved countries was undertaken. From the data collected, an inventory of the relevant available data for MSP in the North Atlantic basin was prepared, processed and stored in a data portal.

The data themes selected were governance (limits of jurisdictional waters, regulations at international, national, regional and local levels, etc.), environmental data (characterization and pressures, etc.) and human activities (uses and activities, conflicts, pressures, etc.). Finally, a pilot interoperable data portal was developed with all information and data compiled as web map services (WMS) to achieve the objective of facilitate interoperability of data. To conclude, an analysis of the processing and management of the data and technical aspects were carried out.

7.3.3. Spatial demands and future trends identification

MSP is a necessary tool to regulate pressures arising from activities trends, maintain or improve the good state of the marine environment and to ensure the prevention and management of conflicts between uses (existing or potential). This includes analyzing the spatial consequences of future trends in each sector and defining specific and achievable development objectives, to define a complete projection of the spatial ambitions of a given sector. The protection of marine biodiversity and the different categories of MPAs could be addressed also through the MSP processes and could

enter into competition for space with the maritime activities. The specific objective of this component is to investigate current and future demands of maritime sectors, with specific reference to cross-border issues, identifying the capacities of the sectors to organize themselves and to express their demands reflecting on current and future trends, including marine conservation. The research work carried out in the project is a combination of bibliographic analysis and the capitalization of interviews carried out through the activity on stakeholder engagement of the project:

- *Desk analysis* was conducted for each of the eight sectors (Fisheries; Aquaculture and fish farming; Commercial transport and ports; Marine renewable energies; Aggregate extraction; Gas and oil; Yachting and recreational activities; Underwater cables) and at the level of the 3 member states, focused mainly on the expected evolution of each sector, the interaction among and between sectors and the environment and to characterize the expression of spatial needs by representatives of the sector. Regarding MPA polices, a review to describe the management processes was carried out, and an update of the North East Atlantic MPA database (NEA–MPA), developed by a previous Interreg Project (MAIA Project - Marine protected areas in the Atlantic arc (MAIA project), for the 350 MPAs of the SIMNORAT project area).

- *Interviews* were realized to sectors representatives, in order to obtain information regarding sectorial identification of spatial demands, including questions related to activity evolution trends. A total of forty-four anonymized interviews were carried out by the project partners, out of which, twenty-three were in France, thirteen in Portugal and eight in Spain. Twenty-five of these interviews with representatives of fishing, shipping, industry and boating activities were used for this task.

A synthesis of the work was produced with the results of the desk analysis and the interviews, adding the legal, political and technical components that can influence the spatial demand of a sector.

7.3.4. Stakeholders engagement

The objective of this component was to explore good practices mechanisms on a transboundary context testing different methods of engagement beyond formal processes to promote discussions among stakeholders. Finally, to raise awareness regarding MSP and to communicate the outcomes of stakeholder's engagement component an informative document with the main results of this component was

produced. The three main methods of stakeholder engagement used in this project, tested in at least one of the three countries, were:

- *Interviews* (FR, SP, and PT) settled in order to collect the stakeholders' sectorial visions and the MSP process expectations in their countries. The sample was composed of maritime sectorial representatives, MPA managers and conservation NGOs previously identified and contacted personally. The method used was the semi-structured interview, combining a pre-determined set of open questions with the opportunity for the interviewer to explore more deeply some particular themes or responses, allowing stakeholders to express themselves freely.

- *Participatory Workshops* (FR, SP, and PT) 2 types of workshops were carried out, the cross-border workshops, conducted between France and Spain - and Spain and Portugal; and the national workshop only conducted in France. During the workshops, different sessions of participation were organized including post-it sessions and mapping discussions. Stakeholders were organized in groups representing different sectorial objectives in order to identify conflicts, synergies, gaps of knowledge or to answer specific questions. Results were shared in a plenary session. This type of workshop is generally used to promote discussions between different levels of expertise in order to propose solutions to conflicts and to share knowledge and points of view between stakeholders.

- *Serious games* (FR), The "MSP – Blue Development Edition" board game, commonly known as "MSP Challenge", is a strategic board game developed at the request of the Ministry of Infrastructure and Water Management of the Kingdom of Netherlands. It is designed for policy-makers and stakeholders with an interest in the field of MSP (Keijser el al., 2018a y 2018b; Carneiro et al., 2017). This "serious game" allows for a better understanding development process about the issues involved in MSP through creative and imaginative role-playing. It was played only with French stakeholders and 21 participants from different sectors of maritime activities, administration and environment managers who played the game adapted to the SIMNORAT project objectives.

7.4. Analysis and results

7.4.1. Conceptual methodology for a transboundary EBM-MSP: the importance of scales

The EU Directive (EU, 1992; EU, 2000; EU, 2014) together with platforms and regional authorities, foster the cooperation with stakeholders, both at nationally and internationally level, but the existing differences in application and timing present a handicap.

To tackle measures at local level, especially those related to sectorial regulation with respect to conservation and protected areas, regional and local authorities are key actors in facilitating the awareness of citizens and reaching out stakeholders in their territories, through communication channels and active participation of civil society. This is especially important in the land-sea interface, where there still seems to be a lack of connection between MSP, land planning and ICZM, where a practical approach and articulation between them is a need (Cash et al., 2006). It is therefore evident that coordinating planning on land and at sea makes it possible to optimize the implementation of infrastructures and services on the land required for activities at sea and vice versa.

According to the Directive, MSP is a MS competence, so it will be applicable at a national (sub-national and local) scale, but it has to be based on an ecosystem approach, which has a wider scale (bioregional). Therefore, a mismatch between ecological and administrative boundaries might arise. Since we understand scale as a jurisdictional (Hein et al., 2006), ecological (Mills et al., 2010) and socio-economic level (Ansong et al., 2017) of the MSP process and its components (sub-process, activity and phenomenon), in space and time, the relationship between scales and scale interactions is a hierarchical concept Keijser el al., 2018a. It is therefore acknowledged that in a sound MSP process it is necessary to differentiate between different scales.

The literature stresses that in the delineation of an area for the development of MSP, a relative consensus seems to exist on the difference between two types of boundaries: the analysis boundaries and the management boundaries (Maes, 2008; Flannery & Cinneide, 2012; TPEA, 2012; Dunstan et al., 2016). The argument for this distinction is that the management boundaries often match administrative boundaries (for political purposes), which do not generally correspond to the boundaries of a single ecosystem (Ehler & Douvere, 2009). This is also supported by the consensus

in favour of the ecosystem approach, which provides a solid foundation in MSP process, (Dunstan et al., 2016; Dilasser et al., 2019; EMODnet). Analyzing phenomena whether environmental or socio-economic only within the administrative boundaries leads to misunderstanding of these phenomena in as much as the latter could be broader. This could lead to the failure of the plan, as a consequence of a mismatch between the ecological scale and the social/management scale (Minang et al., 2015). This is why boundaries of analysis should not be limited to boundaries of management. Similarly, this is also evident in transboundary areas, where the nature of oceanic processes, marine resources, maritime activities and their impacts, exceed administrative borders. For this reason, effective planning and management require a collaborative approach from neighbouring jurisdictions. The European projects, as SIMNORAT, are a *fora* to share methodologies and capacitation, and assist the application of the appropriate scale of analysis in transboundary areas (https://simnorat.mspdata.eu/) as the definition of study areas are not limited by jurisdictional borders and governance of one country.

7.4.2. Data and information requirements for MSP: analysis of data needs and gaps

In a MSP process, spatial information is essential, both for the environmental characterization of the area and for representing the extent of uses and activities being developed. Without this information, it would be impossible to carry out risks analyses or conflicts, threats and synergies identification and lack of information. Tools have been developed that allow this type of analysis and modelling, both at the sea basin level and in hot spot areas, all depending on the spatial resolution of the information. Besides, it is necessary to have the governance component to define possible scenarios taking into account the various existing regulations at international, national, regional and local levels. Therefore, information needs to be mapped and georeferenced in order to be taken into consideration in the development of scenarios. Before starting a massive data collection, it is important to have identified the most relevant data to address the MSP process to prioritize and manage efforts.

In general terms, without going into details of each of the three countries, since it is not the objective of this study to explain this highly technical work, the main problems identified when compiling the existing spatial information from the different national and regional data portals or databases is the non-harmonization of information and the lack of interoperability. The information needs to be not only comparable but spatially continuous to be useful for analyses. It makes also the analysis of transboundary data very time consuming. Another challenge identified related to

the access to certain sensitive information from some sectors, both at private and public environments. This issue is particularly relevant in cross-border areas, where each country establishes its standards in those data sets outside the framework of INSPIRE. As a first step after compiling all the available information was to establish a data model and organize it in a common database classifying it according to the different thematic cartography related to MSP, and its associated metadata, implementing the INSPIRE guidelines to ensure interoperability between databases. In this way, the project has developed the SIMNORAT Data Portal (https://simnorat.mspdata.eu/) (SDP) to share and exchange spatial data for the project area, compiling a relevant spatial data for MSP from the three involved countries, targeting both, general stakeholders and policy-makers. The MSP Directive indicates the kind of data may be used for maritime spatial plans elaboration, but no established classification of data of reference exists. Nevertheless, in 2016, a MSP data study (Carval & Jarno, 2019) established a detailed categorization of MSP data used by MS. Using this study as the basis, the initial inventory of gathered data was organized as:

- Administrative boundaries (terrestrial and maritime boundaries).
- Physical, chemical, biological information (physical characteristics, type of habitat, biological characteristics, pressures and impacts).
- Spatial policy (spatial policy, land use).
- Activities/uses (aquaculture, fishing, marine renewable energies, installations and infrastructures, maritime transport routes and traffic flows, ports, nature and species conservation and protected areas, military, raw material extraction, scientific research, submarine cable and pipeline) (Figure 82).

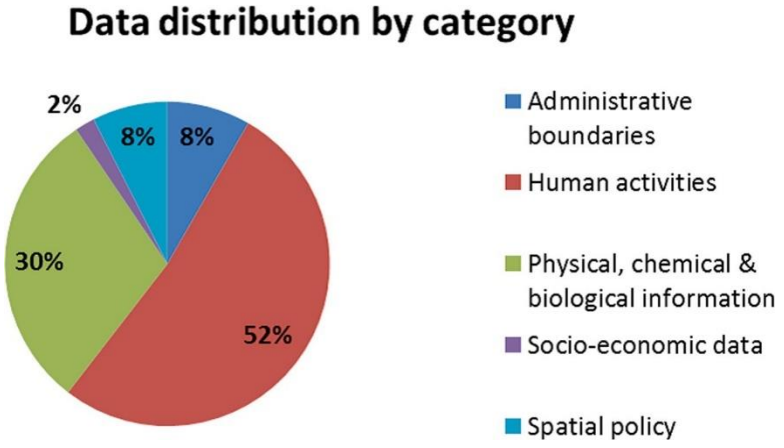


Figure 82. Data distribution by category.

An important imbalance is evident between categories. The *Human activities* category gathers half of the selected datasets. Only five layers have been found in the *Socio-economic data* category probably because normally this data refers to alphanumeric information with no spatial representation (Figure 83).

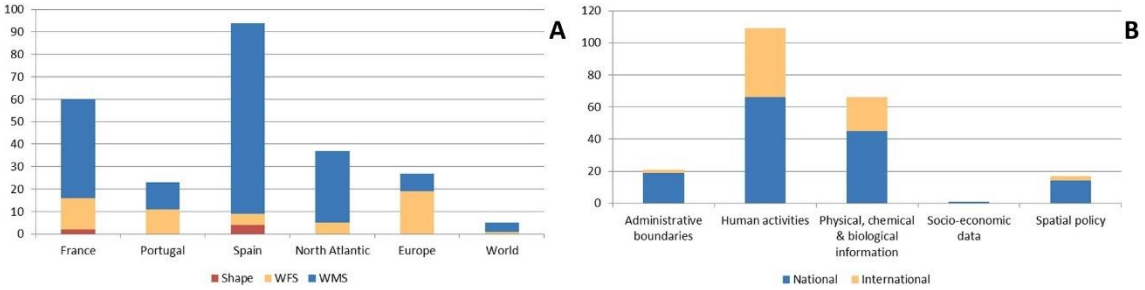


Figure 83. (A) Data format distribution by area and format. (B) Data distribution by category and by geographic level. The North Atlantic category contains data covering all or part of the study area and may concern more than one country.

The Figure 83 shows that in the inventory lots of datasets are available in Web Services but also that some particularly relevant data are available only in shapefile format and the most represented format is the WMS that provides only a visualization of the spatial data. The low number of local datasets presented in this inventory is due to the selection of datasets covering the whole area to provide an overview. Local datasets can be of course useful for particular and local MSP implementation, depending on the defined scale specifically at local hot points, but their identification and collection remain difficult because they are available from different sources and they are not centralized.

As part of this analysis, a number of measures addressing data needs and gaps have been identified in order to improve MSP data sharing among countries. Some of them depend mainly on the data producers and on the cooperation framework. The resulting recommendations are gathered in an *Action Plan* (Table 19) and they are focused on improving the portrayal, interoperability of metadata and Web Services.

The goal of the SDP was to provide an effective tool displaying continuous spatial information of the transboundary area for stakeholders and planners facilitating the decision-making process. To evaluate the functionality of the portal, it was launched open for stakeholders to test it. Additionally, GIS experts or data experts were invited to experiment datasets interoperability and to address needs and gaps and possible solutions to overcome them in support of the "Data and Information Requirements for MSP".

Table 19. SIMNORAT Action plan.

Objective	Actions
Improve metadata and data interoperability	- Create or complete metadata (MD) record in accordance with INSPIRE directive - Publish MD records using CSW catalogues - Produce metadata and data in several languages (give priority to English)
Enhance Web service quality	- Increase Web Services datasets availability - Identify the original producers of dataset to limit data access errors for users and improve administrators' effectiveness. - Implement Temporal Web Services in the data portal demonstrator (MSDI) - Develop a data portal demonstrator - Develop a monitoring tool to test web services stability - Connect databases to Web Services for dynamic datasets to guarantee the last update of data – automatic update - Develop tools to enhance the information (to explain MSFD indicators, to disseminate nonspatial data, to display regulatory information…)
Portrayal	- Define and produce common symbology to improve understanding and use of datasets
Data exhaustivity	- Populate the data portal demonstrator and enrich the inventory of datasets relevant for the project or the case studies

7.4.3. Analysis of spatial and temporal demands and future trends of socioeconomic activities and conservation

As mentioned in the methodology section, the results of a bibliographic research were enriched by the analysis of interviews and workshops run during the project in the framework of the stakeholder engagement component.

Therefore, special consideration was given to analyze possible future trends in the maritime sectors, including changes in their growth, technological breakthroughs and interactions / competition with other activities. But this is not always easy, because many sectors do not even have a defined strategy for the future or even a clear internal organization. When talking about cross-border areas, where there are differences, not only between different sectors but even between countries, this is even more complicated. These differences may be reflected in the institutional structures of the countries, for instance, Portugal and France have a Ministry or Secretary of State for the Sea, where the competences and strategies are well defined, while in Spain they are shared between different ministries presenting different objectives and approaches.

Regarding conservation, in SIMNORAT project area, over 30 different MPA categories have been identified, coming from international, European or national regulations. MPA landscape is therefore complex since each of these categories could have different objectives (from strict conservation to sustainable development), management processes and regulations, management body and different levels of stakeholders involved. All these factors shall be considered together with the application of the EBM in MSP, by adapting the essential features of the planning process, and through environmental and economic impact assessments.

The interest in this analysis during the project was in the direct expression of the spatial demand by the representatives of the activity. This expression reflects the concrete vision, specific to each sector, of its evolution as well as its expectations regarding MSP. The purpose of this study is not to define and study several prospective development scenarios or to map sectorial trends, but rather to explore the factors influencing its development (policies, interactions, context, etc.) and to characterize positioning strategies related to MSP. In this analysis, the common variables likely to constitute a priori factors influencing the expression of the spatial demand have been identified for the three Member States. A common analysis grid of the expression of space demand has therefore been developed for the following 8 maritime sectors:

- Aquaculture
- Fisheries
- Cables and Pipelines
- Offshore Wind Energy
- Ports and Shipping
- Yachting
- Oil and Gas
- Marine renewable energy

In the analysis grid created for this study, three rubrics should make possible to bring contextual elements and to account for the spatial demand expressed by the representatives of each sector:

1) The structure of the sector and channels of expression to analyze, for each maritime sector, the structuring, its organization and its level of participation in the process of MSP in order to understand the channels of expression that presents for claiming “spatial demand”.

2) The analysis of the sector in its environment, taking into account interactions with other activities and marine conservation. This part aims at understanding and analyzing the weight of the activities interactions with its environment in the characterization of the spatial demand. Three types of interactions are thus studied as possible factors influencing the spatial demand: interactions between activities, between different sectors or inside the same sector (for example: different fishing practices); interactions between activities and environmental values regarding constraints felt by the parties concerned with respect to environmental regulations in the development of their activities; and cross-border interactions combining indifferently the two types of interactions mentioned above when they appear between actors of different nationalities or on a border area.

3) Characterization of spatial and prospective demand around future trends, to specify other context elements in the analysis, for example, obstacles or opportunities for the sector in its development or its means of expression of the spatial demand (e.g. technological development, political aspects, structuring / seniority of the sector) or of a state of play of MSP reflections or approaches in the State concerned which leads to a lack of statements and positions on the subject.

The purpose of this study was to explore the factors influencing the development of sectors (structure of the sector, policies, interactions, context, etc.) and to characterize positioning strategy with respect to MSP in terms of spatial demands. With regard to the elements analyzed and the results achieved, we identify five main trends in spatial demand strategies:

- Defense strategy for "historically used" of the space, mainly concerns the fishing and yachting sector and it is explained by the historic use right of the maritime area associated with these sectors of activity.

- Spatial expansion strategy mainly concerns the marine renewable energy sector and applies, in particular, to the northern area of the OSPAR IV Marine Region.

- Strategy for maintaining authorized areas, mainly concerns the fields of shellfish farming and marine aggregates extraction. These two activities have in common the fact that they use the means of the concession of use on a marine or littoral space to access the resource.

- Activities with spatial implications not directly influenced by MSP, concerns the sectors of maritime transport and submarine cables, governed by conventions and international maritime law, the organization of commercial shipping and submarine cables should be relatively unaffected by the actions of MSP.

- Activities in decline due to the decarbonation of European countries, in the three member states of the SIMNORAT project, the hydrocarbon exploitation activity is non-existent or in decline.

The sectorial analysis of activities shows a great diversity of involvement in the claim for spatial demand, from the wait-and-see posture to a pro-active posture of demand for "dedicated areas", that could be explained in part by the different legal regimes that accompany the regulation of the activities, the level of appropriation of the space, the conditions of access to the resource the "historical" use rights for certain activities and the spatial characteristics (e.g. location, water depth, mobility, land-sea interactions). In this work, the analysis of the sectors structure could highlight the weight that can represent a well-structured sector in the consultations about MSP. MSP also presents an opportunity to communities to get involved in the effective management of the ecosystems around them (Gubbay, 2004; Marques et al., 2019c) acting as a local governance tool. For instance, the process of establishing and managing MPAs requires careful planning and sensitive management (Smith et al., 2012) which allows the inclusive representation of stakeholders in the planning process.

7.4.4. Stakeholders data analysis: potential approaches for stakeholder engagement on MSP

The approach adopted for stakeholder engagement in SIMNORAT consisted on the organization of multisectors participatory workshops, based on information collected during interviews of different stakeholders from the three countries. The aim was to involve stakeholders in cross-border discussions and to support the sharing and use of good practices for the stakeholder engagement process, in order to contribute to the better coherence of the MSP processes in the three countries. For the interviews phase, once the list of potential stakeholders to be interviewed was settled, the best method to contact them was by email and by phone call. A call is important in order to have direct contact with them and also to explain what the objective of the interview will be and how it fits into a specific process. A total of 47 interviews were conducted in the 5 sectors of activities concerned (Table 20): Administration, Fisheries and Aquaculture, Conservation, Maritime transport and ports, Tourism and leisure

and more sectors of activities left to the discretion of each country. The topics in the semi-structured interview were adapted to the needs of gathering information on the topic "future trends" and "spatial demands" among others, in coherence with the general analysis of the project. The textual analysis concluded with 1983 quotes selected, classified by topic, activity and country. Ten topics for analysis were identified: MSP perception, governance and stakeholder engagement, future trends, spatial demands, cross-border dimension, link with other policies, conservation, economic development, opportunities and expectations and constraints and concerns.

Table 20. Sector of activities taken into account.

Sectors of activities	Description
Administration	Administrations in charge of maritime issues
Conservation	Associations, NGOs and environmental administrations in charge of environment
Defense	Administrations in charge of safety and national security
Industry	Private and public bodies and administrations in charge of marine renewable energy, marine aggregate extraction, oil and gas extraction, etc.
Fisheries and Aquaculture	Private and public bodies and administrations in charge of fisheries and/or aquaculture
Leisure and yachting	Associations, sport federation, private and public bodies and administrations in charge of sports and leisure
Maritime transport and Ports	Private and public bodies and administrations in charge of maritime transport and ports, port managers and shipowners

This mixed method has demonstrated to offer a good vision about stakeholders' expectations in the MSP process, facilitating their engagement in the process. Participatory workshops as a tool to involve stakeholders are a great opportunity to introduce them to the MSP purpose and process, and to listen to their voicing by the peer to peer exchange (across sectors and borders). This allowed identifying issues of interest for transboundary coordination in planning. The testing of serious games as a tool for stakeholder engagement in association with post-it/mapping workshops helped to show and to understand the complexity of MSP and to simulate negotiation situations.

One of the main results of this task was that all stakeholders acknowledge the need for flexible plans over time. From the economic sectors representatives' points of view, it is essential to integrate the technological development and the emergence of new activities. From the perspective of the environmental conservation and protection sector representatives, this flexibility is required to adapt management and conservation measures to the evolution of species and ecosystems with regard to

the challenges of climate change. Finally, the integration of the land-sea interface is not sufficient or almost non-existent according to stakeholders, while many land-based activities have a significant impact on the marine environment, particularly for the quality of marine waters. Therefore, the creation of cross-border and inter-sectorial programs could make it possible to better take into account land-based marine pollution.

7.5. Case studies

The SIMNORAT project includes two case studies in cross-border areas dedicated one to the cumulative effects assessment of anthropogenic pressures on the marine environment between SP and FR, in the Bay of Biscay. This case study aimed to explore tools, methods and data to assess environmental effects of maritime uses in the context of MSP and transboundary issues. The other case study shared by PT and SP, supported a conceptual methodology to create and manage a cross-border Marine Protected Area (MPA) between both countries. In order to achieve this, the case study focused on the existing Spanish MPA of Galicia Bank and on the Vigo and Vasco da Gama Seamounts.

7.5.1. Case study Bay of Biscay: mapping exposure risk of marine megafauna to concomitant pressures

This case study focused in the development of a specific Cumulative Effect Assessment (CEA) method in the Bay of Biscay between France and Spain. Its aim was to implement a common methodology, between the two countries, regarding spatial and temporal environmental effects of maritime uses on key pelagic species. The choice to study marine mammals and seabirds as ecological components is due to their high mobility, which allows them to cover the entire case study area. Thus, these species are common for Spain and France, which share conservation interests and target the same species in their marine protected areas. This case was a good opportunity to analyze methods and technical questions regarding data, tools, spatial and temporal resolution, and allowed highlighting and ranking areas of probable overlapping between anthropogenic pressures and key marine communities, by:

- Producing maps of human activities and major pressures affecting marine mammals and seabirds; and

- Producing maps of the potential exposure risk to human pressures for marine mammals and seabirds;

The variables considered to develop the test were 1) Environmental values: marine mammals and seabirds; 2) Human activities: fisheries and maritime transport; and 3) Pressures: physical disturbance, underwater noise and marine litter.

The method used was the "CARPEDIEM" for CEA based on one matrix establishing relationships between human activities and pressures and another one matrix describing the ecological sensitivity of habitats to different pressures (Figure 84).

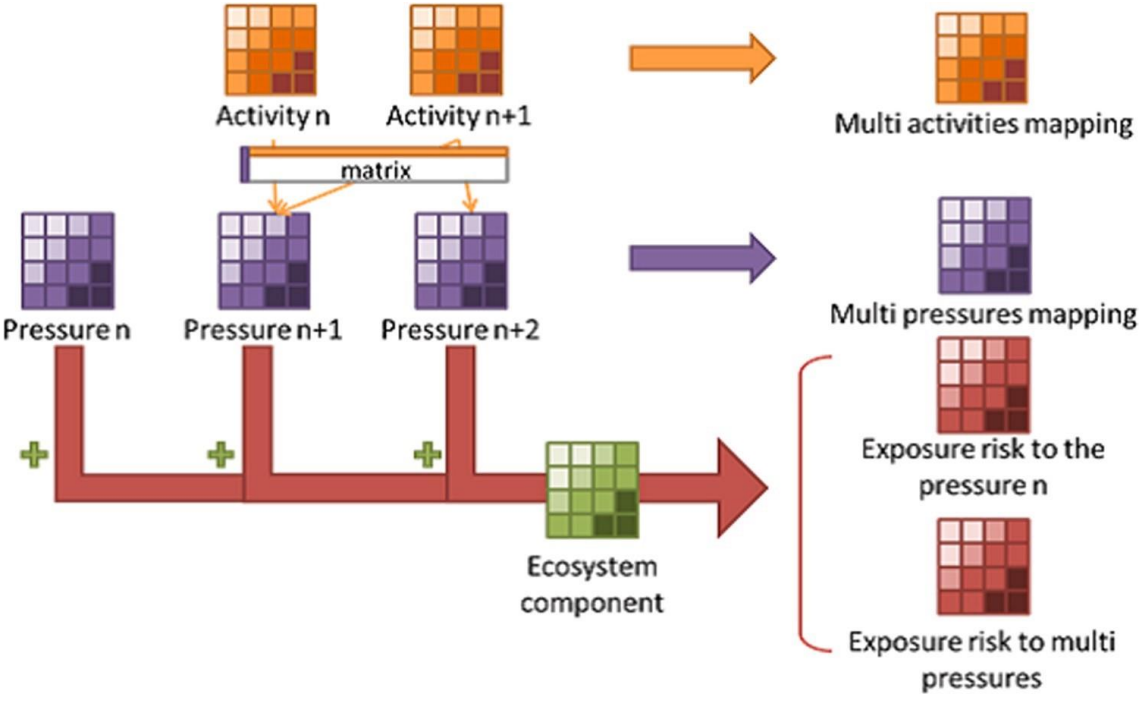


Figure 84. Overview of the four main steps of analysis. A: activity, P: pressure, E: Ecosystem component (marine mammal or seabird).

Finally, some challenges were identified in the development of this component. Identification and collection of existing / available data in both countries was very time consuming and not totally successful. Data was not available for the same periods of time in both countries or it was not possible to exchange. Therefore, data quality control and raw data edition to generate standardized and comparable datasets was a hard task to accomplish. Consequently, there was a need to assess differences based on application of this different data.

Also, this task laid the foundations for a relationship between project partners, a necessary first step in order to develop coherent planning and management approaches on both sides of the maritime borders. On the other hand, the ultimate goal

of this task was to produce diagnosis useful to managers and decision-makers involved in MSP. Maps produced for this component are good illustrations of cross-border issues for conservation of marine biodiversity, showing that these methodologies play a key role in delivering EBM approaches into MSP.

The main challenge faced by this case study was the collection and production of coherent datasets from both countries (e.i. in Figure 85). However, the main interesting result was the networking of Spanish and French teams and the technical and methodological developments.

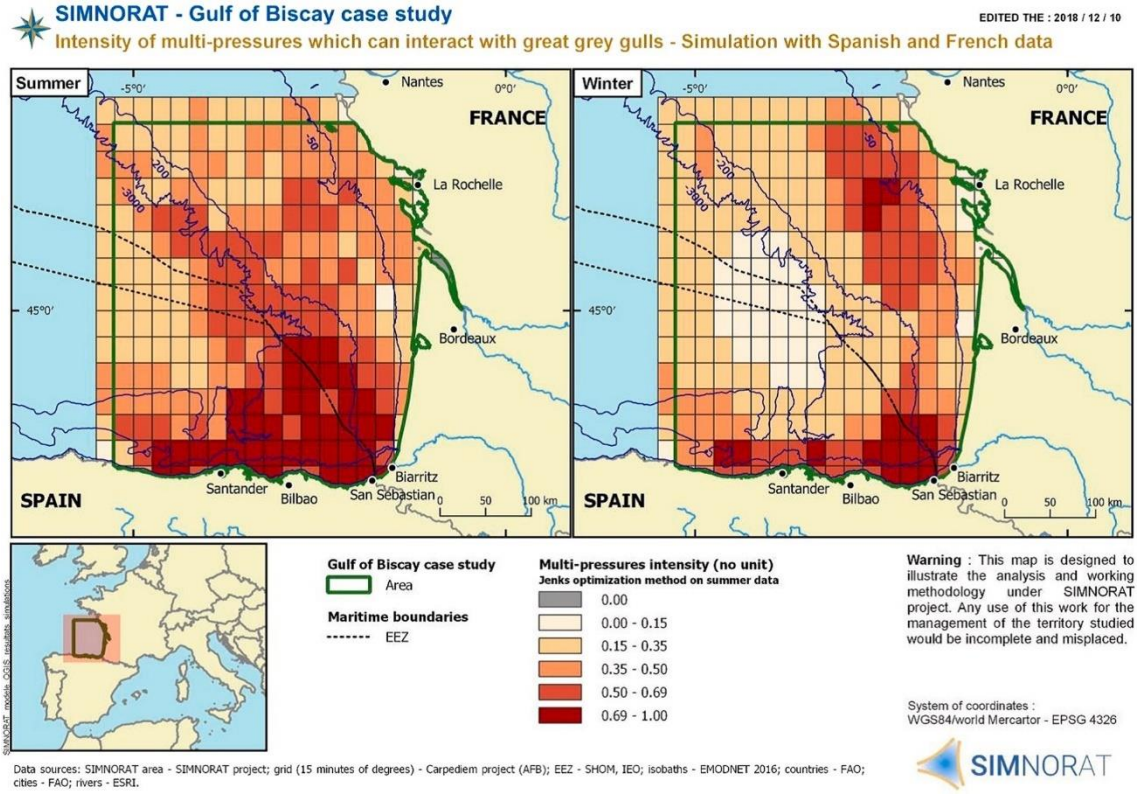


Figure 85. Intensity of multi-pressures that can interact with great grey gulls (simulation with Spanish and French datasets).

Moreover, on the technical aspect, the pelagic component had not been studied yet in the cumulative effects assessment tool CARPEDIEM and progress could be achieved. This large-scale study is a good example and an opportunity to develop transboundary cooperation and projects between Spain and France in line with the recommendations of the MSFD and MSP Directives.

7.5.2. Case study Galicia Bank and Vigo and Vasco da Gama Seamounts: cross-border Marine Protected Area management

This case study was focused on the design of a legal and governance framework to implement a potential a cross-border MPA in the Northwest sector of Iberian Peninsula based in the EBA principle, addressing marine conservation at the ecosystem level in the area between Spain and Portugal, including the Spanish Marine Protected Area of *Galicia Bank* and the *Vigo and Vasco da Gama seamounts*, located in the western limit of the geologic continental platform and on the northern limit of the Portuguese jurisdictional area and in the border of OSPAR regions IV and V.

In order to consider the impacts from maritime activities, the case study was structured in two geographical scales (Figure 86): (1) *Analysis scale*, covering the two conservation areas, the connectivity area between them and it extend to the coast to take into account all the pressures and activities that might represent a risk for conservation (Wang, 2004); and (2) *Management scale*, formed by the two protected areas and the area between them.

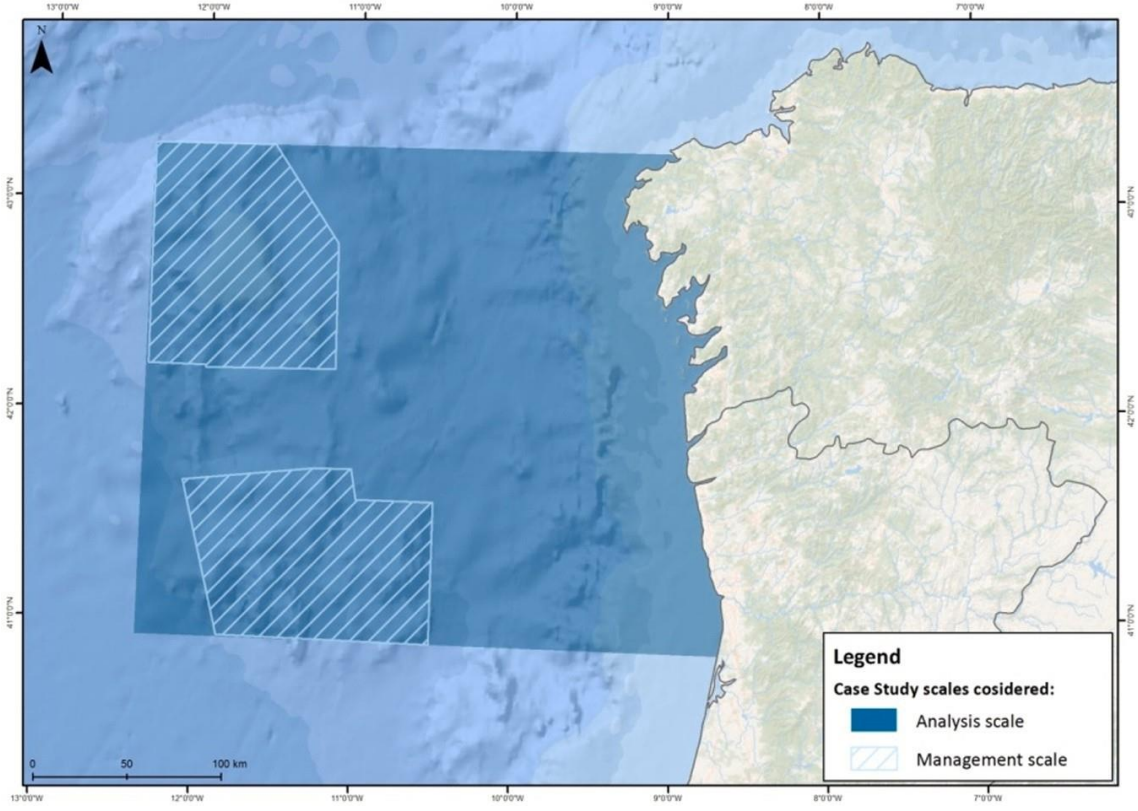


Figure 86. Case study scale considered.

The analysis implied the compilation of administrative, ecological, geological and maritime activities data in order to identify main challenges in transboundary MPA planning (jurisdiction disputes, accessing international data), identification of knowledge gaps and synergies, conflicts between conservation and maritime activities, and stakeholder engagement in the case study area. In addition, the analysis of the governance framework in Spain and Portugal regarding marine conservation and MSP and the comparative analysis of Portuguese and Spanish maritime and coastal planning policies and management tools, was crucial to complete the case study.

This work evidenced there are differences in governance frameworks between Spain and Portugal concerning MSP and nature conservation, namely marine conservation responsibilities. The main, resides in the separation of competences, while Portugal has different organisms for MSP and marine nature conservation, in Spain competences are hold by the same institution (Wang, 2004) (Figure 87).

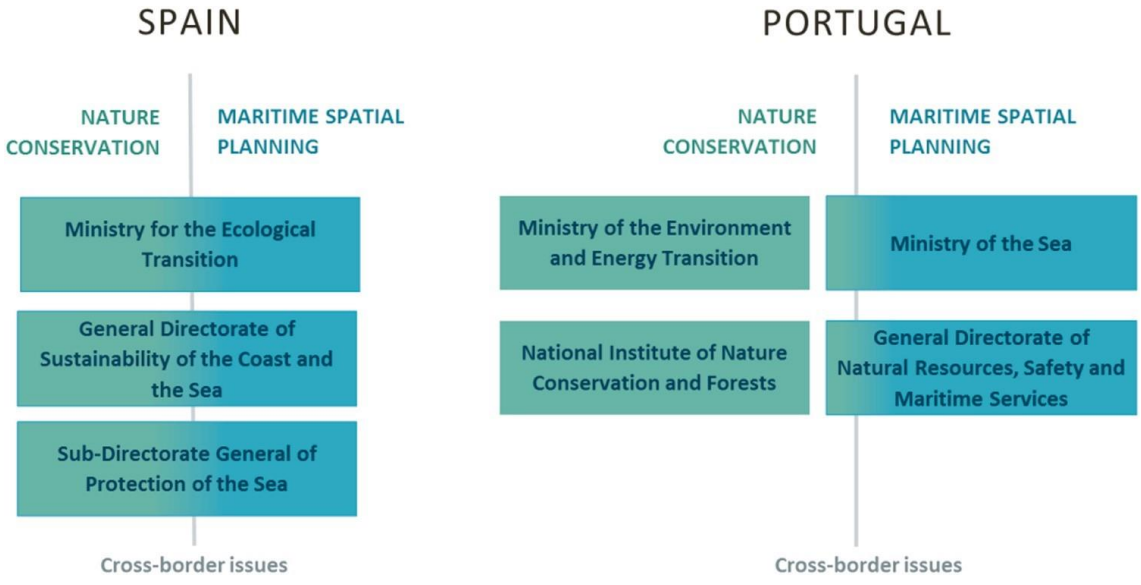


Figure 87. Governance framework of environmental conservation and MSP (Spain/Portugal).

A cross-border MPA management initiative must be based on the governance structure of both countries and formulated in such way that it is possible to, directly, or via corresponding management plans in either country, lay down legally effective recommendations or regulations (Wang, 2004). In this sense, stakeholder engagement is one of the main results of this case study, thus the workshop held between Spain and Portugal in the context of a transboundary MPA, about the cross-border

dimension of MSP, implied the dialogue between maritime sectors of both countries to highlight the following:

a) Lack of strong conflicts between activities in the area to be protected as its ecological value is well demonstrated having little relevance for fishing,

b) Uncertain interest for mineral resources exploitation,

c) Low number of navigation routes crossing the area,

d) Renewable energy platforms are unfeasible at that distance from the coast,

e) Consensus on the convenience of data/information exchange platforms to optimize research investment and knowledge progress on the available resources of the area,

f) General agreement on the need of a stable communication mechanism between governments and stakeholders allowing the implementation of common governance mechanisms and management plans for this cross-border case study.

7.6. Discussion

Generally, EU requirements provide the basis for cross-border cooperation, although differences in administrative and governance structures make collaboration complex and differences in regulations may cause limitations in joint decision-making. Throughout the project's development, and in each of the objectives addressed, barriers have been identified where MS must continue to work together to overcome them, in order to carry out effective and coherent MSP processes.

One of these barriers found is the definition of the geographical scale. The literature analysis laid the foundation for different management scales depending on: the size, density and characteristics of activities, their impacts, environmental vulnerability and existing governance structures (UN, 1992). In order to apply MSP according to the zone and the type of activity (EMODnet) it envisaged that *"densely used or particularly vulnerable areas may require more prescriptive spatial plans whereas areas with low density of use may only require general management principles".* In this case, when it is necessary to descend to a higher resolution scale, this must be accompanied by a higher resolution also in the spatial information or data, which is not always possible. The processing and standardization of data can be a significant

burden for project developers (Jay et al., 2016). Consequently, in the early stages of the process, it is essential to identify the general and specific objectives and the state of the available data to identify the scales needed to address the MSP process (Maes, 2008; Barbanti et al., 2005). However, despite international recommendations to develop this approach in the implementation of MSP, plans and administrative boundaries often do not match the boundaries of ecosystem processes (Dunstan et al., 2016; Smith et al., 2012), particularly in Europe, where marine jurisdictional boundaries are "so close and where many states are involved".

The concepts of integrated EBM seem to be often too broad, too abstract, and too complex to be operationally implemented (Douvere, 2008; Queffelec, 2013). Moreover, even if international instruments exist, EBM may represent legal problems in a cross-border context when the jurisdictional boundaries do not coincide with ecosystem boundaries and concerns several instruments and laws in different countries (EC, 2008a). That is why Dunstan et al. (2016) suggest starting the analysis for a MSP implementation process with a bioregion scale. Thus, most of the work done on this topic recommends the implementation of regional, national and local maritime spatial planning (Coleman et al., 2011; EMODnet; Dilasser et al., 2019; Zaucha, 2012). A solution to this problem could be tackled with a nested approach, where a distinction between two main scales is advised:

a) Analysis scale which comprise ecosystem boundaries and processes, been the broader and the one in which the definition of the strategic objectives will be based.

b) Management scale, an integral part of the planning boundaries, related to the definition of focus areas where operational objectives will be developed, depending on the peculiarities and the characteristics of each local area.

In this sense, the case study of the Cross-border MPA between Spain and Portugal fits the specific objectives of SIMNORAT project as a step forward in understanding current and potential future demands relevant to transboundary conservation areas, access to data and data-specific barriers to transboundary cooperation. Additionally, it considers potential options for transboundary cooperation in a context of a cross-border marine protected area including marine EBM approach (Wang, 2004).

Regarding spatial data, there is a general agreement on the fact that MSP should be based on the best available, high quality and up-to-date spatial data (St. Martin &

Hall-Arber, 2008; MedPAN, 2016). Geographic information Systems (GIS) are used to aggregate individualize data and to allow planning options to be considered (Bliard et al., 2019). However, prior to the collection of data, planners must have very clear what type of information and data they will need, it is not a question of data ingestion, but rather it is necessary to carry out a previous exercise of identification of necessary data according to the objectives of the plan. For transboundary MSP, one of the barriers found was in the aspect of data organization, where there is a lack of harmonization and standardization in georeferenced information, ranging from different coordinate reference systems and formats to differences in indicators or measurement units, despite INSPIRE compliance, that has proved not always being enough depending on the resolution scale to work. The SPDP developed, was structured with a focus on INSPIRE web services (WMS, WFS, and WMTS). This brings several benefits as data is stored by the producer which avoids unnecessary duplication and lowers the administration processes. This protocol guarantees an access to the most up-to-date published data, not to duplicate the data maintenance work and it does not require storage of the information. Some opportunities have been found when defining scale and boundaries according to EBM, as the availability of some public databases regarding geology, habitats and oceanographic variables at supranational scale (e.g. EMODnet). However, there are still gaps in some types of data and when considering the definition of the "ecological boundaries" in the dynamic nature of some important ecological items (i.e. marine mammals).

A weakness identified by the three countries related to activities and uses data and spatial demands, is that some sectors are more organized and visible than others at administrative levels, which could cause imbalance between them. In addition, the difficulty in accessing confidential information of sectors, especially in the public domain, is a major barrier, since this even occurs between ministries. The main constraints found by each country have been data collection and mapping which are very time-consuming, especially in a cross-border context. Moreover, misbalance in data between sectors and/or countries could lead to wrong conclusions. The lack of scientific knowledge represents a gap in the full understanding of ecosystem services within cross-border regions and the benefits that those services represent to society that should be supported by governance systems.

The need to establish a plan in which present and future spatial demands are taken into account is evident; however, interactions that may arise between activities and environmental values suppose constraints or opportunities for the spatial development of a sector. This is one of the issues that arise when conducting the research on spatial demands. During this study and from the analysis of the information

collected from the stakeholders, three types of interactions are thus studied as possible factors influencing the spatial demand: interactions between activities of different sectors or in the same sector (i.e. different fishing practices); the interactions between activities and environmental values where the parties felt as a constraint the limitations imposed in the development of their activities by environmental regulations; and cross-border interactions combining indifferently the two types of interactions mentioned above when they appear between actors of different nationalities or on a border area. These interactions are traditionally mainly approached from the angle of incompatibilities and thus recognized as factors constraining the spatial development of an activity. The analysis of the sectors in their spatial environment - in interaction with the other activities and the environmental conservation - carried out within the framework of SIMNORAT makes it possible to qualify this postulate:

- The supposedly negative interactions are not always real if we integrate well the multiple spatial dimensions of the maritime space and temporal dimension.

- Negative interactions are not necessarily linked to a conflict over the sharing of space and / or resource but on a lack of knowledge of the practices and rules of use of each activity.

- There are many positive interactions that can generate synergies and opportunities for co-development.

- Transboundary interactions may mainly involve near shore installations or resource competition (fishing).

Regarding conservation, the protection level provided on a MPA, have to be consistent with the conservation objectives and the existent pressures affecting the region, where a MPA is designated (Bliard et al., 2019). The strength of protection of a given designation is thus, specific to each country and specific to each site (EC, 2013a) and in some cases, different conservation tools for designing MPA overlap (e.g. SPA and SCI sites of marine Natura 2000 network and OSPAR protected sites), especially in transboundary MPA´s networks. However, this overlap of designations tools does not necessarily mean that a site is better protected than if there is only one designation. This also points at the need to bring coherence between management from various designations in the same area.

MSP goals will have to succeed in connecting and making the voices of all stakeholders, both economic and institutional, be heard in an integrated consultative process, before and after the implementation of the Directive by Member States. However, when, how, who they should been contacting? The practice demonstrates that this requirement of the MSPD regarding stakeholder engagement is essential because, to guaranty the success of the plan, they must be an active part of it from the beginning to the end. On the basis of the results produced in the work done on improving stakeholder engagement, several questions for further investigation and testing have been brought out. For instance, partners in each country chose stakeholders to interview, so they can be different even in the same category, depending on the country, as occurred in Spain and Portugal where more of them came from the private sector. Which must be the scale for the stakeholders? Local, national and/or transnational? Which stakeholders and how to engage widely individuals besides representatives? How to communicate MSP to the general public to support stakeholder engagement? Are traditional training and brainstorming techniques sufficient?

One of the important aspects highlighted by the project was that MSP generates many expectations between stakeholders and, in a cross-border context where sectorial problems are often common, the expectations for cross-border cooperation are stronger. Another important issue is the need to share and improve knowledge to create a solid basis that can support joint decision-making. During the workshops, many stakeholders manifested unawareness regarding background information or other sectors objectives.

The information collected during the interviews is a unique source allowing us to compare different opinions and to identify the needs of the sectors. Additionally, participatory workshops promote knowledge improvement and even the discovery of some activities proposed by the sectors (i.e. blue tourism compatible with artisanal fisheries). If these exchange forums become permanent, they could facilitate the identification of synergies and the improvement of cooperation between business sectors, but also between these sectors and the conservation dimension to implement efficient measures for environmental protection. In general, stakeholders understand and accept the EBAs a priority when it comes to making trade-offs between uses, the environment and maintenance of ecosystem services. However, doubts and distrust arise on how it should be implemented, as they stated that the same sectors are always the most affected (i.e. hydrocarbons exploitation, fishing, etc.) by environmental conservation measures.

The comparison between results of interviews and workshops shows that participatory workshops generated more proposals and solutions. Stakeholders are confronted with a specific case study (such as Bay of Biscay, the establishment of a transboundary marine protected area, etc.) and they know the specificities of these areas. They are therefore capable of offering concrete solutions to local problems as well as indicated lack of information in the areas.

In relation to serious games, these are not intended to collect information and data, in contrast to the two other methods, but to promote understanding of other points of view by the appropriation of other sectors stakes and roles. This game highlights the importance of discussions and the stakeholder's engagement in this kind of Directive in order to promote synergies and to limit the conflicts but especially to facilitate the social acceptability.

7.7. Conclusions

The intensification of economic activities in maritime and coastal areas in Europe, the need to prevent and adapt the coastline to climate change and the exploration and development of new maritime activities (marine renewable energies, blue biotechnologies), drive the need for new maritime and coastal planning solutions. The EU Directive on MSP is a first step towards sustainable and adaptive management but it has to be concerted and harmonized with the real needs of the territories. SIMNORAT has shown that in order to obtain better results, it is necessary to make collaborative efforts and to improve in certain aspects identified in the final conclusions:

- The use of MSFD monitoring program, indicators and surveillance, common for the three countries, could be an advantage for coherence. However, differences in the stages of MSFD implementation might threat the monitoring report momentum. Furthermore, MPAs are a governance tool that allows the participation of maritime sectors and civil society, serving, as a process, to foster public engagement in MSP. Therefore, coherence between MSFD and MSP implementation is a major perspective to address environmental, economical and social stakes, and so MPA objectives, through MSP.

- Improvement on coordination among administrations, both at national and international levels is needed, and competence distribution should be revisited to improve the coordination and cooperation between the departments that largely work independently of one another. A harmonized approach in the implementation of the Directives, including streamlining policy goals definition,

as well as to improve the sharing of data. It is necessary to take both the horizontal coordination (between sectorial policies) and the vertical coordination (between different governance levels) into account and to develop common standards between neighbouring countries adopting a normative framework, as well as the cooperation and coordination between and among the various levels of decision-making.

- Considering the transboundary nature of marine resources and activities and the importance of cross-border collaboration between neighbouring states, regional sea conventions such as the OSPAR Convention, are efficient platforms to encourage, an facilitate a regional MSP approach, and to provide comprehensive regional marine perspectives in cross-border cooperation, which is critical to sustainable development. They are also important to promote Sea Basin Strategies, in this specific case the Atlantic Strategy and its Action Plan (EC, 2013a), contributing to the success of the Integrated Maritime Policy and focused in the promotion of MSP as a tool.

- Management of maritime uses/activities and marine resources cannot be dissociated from the coastal zone processes, and vice versa. Many maritime uses need support installations on land. Some uses existing mostly on land (e.g., tourism, recreation, ports) expand their activities to the sea as well. These interactions need to be studied, in order to assess their individual and cumulative impacts and potential conflicts and synergies.

- The consequence of a mismatch between the ecological scale and the social/management scale, could lead to the failure of the plan. That is why the boundaries of analysis should not be limited to the boundaries of management, providing a nested approach solution. That also implies not a single consistent scale, but multiple scales adapted to the different stages of the process of implementation of MSP (analysis, stakeholders' participation, actions, etc.). It is the proper articulation of the scales throughout the process that will be the subject of a supported reflection.

- Spatial data must be addressed following common guides for MSP to overcome the interoperability issues encountered respect to data and methodologies, and the numerous sources should be centralized. It is necessary a common data model for MSP. Spatial data infrastructures based on Web Services in which data is not stored on local servers, but comes directly from the produc-

ers' SDI through a harvesting process, seems to be the best solution when approaching data issues at transboundary level.

- It is essential to improve and encourage the science-policy dialogue established to increase policy development based on scientific knowledge that is the basis of marine processes and to be able to guarantee the good environmental status of ecosystems and the services they provide related also in the application of MSFD.

- Great difficulties exist in identifying spatial demands despite some particular sectors (i.e. hydrocarbons exploration), as well as lack of strategic or sectorial planning in the sectors themselves. Likewise, another major obstacle is the difficulties in finding data regarding the organization of socioeconomic sectors, their governance, and in finding high quality and true information on sectorial trends (i.e. fisheries Vessel Monitoring System (VMS) data).

- A structured and organized sector is a factor facilitating the expression of demands because it allows being easily represented in the consultation bodies. The analysis of the vision of the activities representatives on the evolution trends of their sectors could provide elements of context to the expression of a particular spatial demand and to identify obstacles or opportunities conditioning its evolution (e.g. technological evolution, strong political will, regulatory framework, etc.).

- Cross-border workshops encourage sharing and improvement of knowledge, while discussions can promote synergies and cooperation between sectors themselves as well as encourage sustainable development, concerning environmental sensitivity. The use of role-playing is considered appropriate even if the game mechanics are simplified compared to reality in order to understand the complexity of the process and to make stakeholders empathized with the constraints of other maritime sectors and the difficulty of negotiating to mitigate conflicts. In this sense, many stakeholders consider that European funded projects, such as SIMNORAT are a good platform for this first approximation between stakeholders from different sectors and countries.

- The project highlighted the potential of a shared technical work, in terms of identifying scientific and technical teams across countries, identifying common needs, identifying opportunities to cover knowledge/methodological data gaps in neighbouring areas/countries, or exchanging and building

common methods for common analyses for the purposes of answering to concrete administrative requirements or needs.

From the different conclusions of the project, some specific recommendations can be highlighted:

- When choosing the competent authority to implement MSP and designing the process through pre-planning (Ehler & Douvere, 2009), it is of great value to analyze the best way to align MSP and MSFD processes since the beginning. In the same way, it is important to establish, the proper strategy of coordination among different levels of administration (vertical and horizontally) to identify clear rules on how will the work flow be developed, easy to understand and follow for all the administrative stakeholders involved in the process.

- The first phases of analysis should always be approached at a bioregional scale as some natural process and activities impacts exceed jurisdictions. Transboundary projects are the best opportunity to create a first link between countries at technical level, which in the long term may lead to real cooperation at joint decision levels. This is why it is important that in these kinds of projects, institutions involved are the ones with real roles in the MSP processes in their countries.

- It is important to dedicate more effort in engaging those sectors that are underrepresented, as this lack of representation is sometimes due to their lack of organization but they might comprise a great socioeconomic value for the country or a particular region.

- Transboundary coordination and cooperation for MSP also could imply a better dialogue between stakeholders from same activities of different countries that do not have the chance to meet by other forums, for example, a particular sector that is only represented institutionally and not by its workers.

- A good stakeholder engagement strategy not only implies a huge number of events and people engaged but should concern more the way in which they are going to be engaged. Not all stakeholders benefit from the same kind of engagement. For instance, if there is a need for two sectors to understand each other, you may organize a workshop with role playing, but if information is required from a particular sector, an interview should be settled.

CRediT authorship contribution statemen

Gómez-Ballesteros, M., Cervera-Núñez, C. and Campillos-Llanos, M. designed the article structure according to the tasks carried out during the project. They have been the Spanish researchers responsible for this work as they were involved in the general development of the project and its different tasks, having a more relevant role in the question of the scale, the identification of spatial demands, the stakeholder engagement task and the cross-border MPA case study. They have led the interpretation of the results. The ideas in the manuscript were developed through review of the deliverables of the project, group discussions and written up by them with contributions from all authors. Quintela, A., Sousa, L., Marques, M. and Alves, F. contributed to the case study between Spain and Portugal: "Cross-border MPA - Galicia Bank and Vigo and Vasco da Gama seamounts" and also focused on harmonizing cumulative effects assessment as a step forward on their integration into transboundary Maritime Spatial Planning. Simão, A. P. and Costa, A.C carried out the overview of MSP implementation process in the definition of the case study area and scale in Portugal. The data collection and information, analysis of data needs and gaps was carried out by Murciano, C. and Lloret and A. Carval, D. regarding human pressures and Gómez-Ballesteros, M., Cervera-Núñez, C., Campillos-Llanos, M. and Quintela, A. regarding the marine environment characterization. Bailly, D., Nys, C., Sybill, H., Gómez-Ballesteros, M., Cervera-Núñez, C., Campillos-Llanos, M., Quintela, A., Sousa, L., Marques, M, Murciano, C., Lloret, A. and Alloncle, N. developed the stakeholders engagement data analysis. Alloncle, N., Gómez-Ballesteros, M., Cervera-Núñez, C., Campillos-Llanos, M., Lloret, A., Murciano, C. and A. C., Carval have developed the Case Study between France and Spain in the Bay of Biscay: "Mapping exposure risk of marine megafauna to concomitant pressures." Sala, P., Dilasser, J., Cervera-Núñez, C., Gómez-Ballesteros, M.**,** Campillos-Llanos, M., Murciano, C., Lloret, A.**,** Quintela, A., Sousa, L. and Marques, M. worked in the component of spatial demands identification. Sala, P. and Dilasser, J. coordinated the task while the other authors were contributing from their countries' perspectives.

Acknowledgements

This work was supported by SIMNORAT EASME/EMFF/2018/ 1.2.1.5/SI2.806423; SIMATLANTIC EASME/EMFF/2015/1.2.1.3/03/ SI2.742089; CESAM (UIDP/50017/2020+UIDB/50017/2020) through national funds, and the co-funding by the FEDER, within the PT2020 Partnership Agreement and Compete 2020. We wish to express our thanks to all other members of the partner organizations involved in the project including AZTI and CETMAR. We would like to thank the reviewers for their valuable comments on the manuscript.

Capítulo 8

Discusión



Santa Justa - Cantabria (Foto: María Gómez)

DISCUSIÓN

En los capítulos anteriores, se ha mostrado el empleo de diferentes metodologías tanto para el estudio y la caracterización de los fondos marinos como para la ordenación espacial marina, y cómo el conocimiento científico obtenido, integrado con datos de otras fuentes, se aplica como base en la gestión sostenible del espacio marítimo a través del enfoque ecosistémico en la ordenación espacial marina. Los resultados obtenidos se están implementando en la gestión de la RN2000 de España y en el proceso nacional de ordenación espacial marina.

8.1. Estudio de los fondos marinos

En el marco de los proyectos LIFE + INDEMARES e INTEMARES LIFE se han llevado a cabo investigaciones para caracterizar el fondo marino y sus ecosistemas en las aguas españolas, a fin de poder demostrar la existencia de HIC, delimitar aquellas zonas en la que se determine su presencia y proponerlas como espacios marinos protegidos de la RN2000. Las áreas en las que estos trabajos se han desarrollado en el margen cantábrico incluyen desde la plataforma continental y talud continental hasta una estrecha franja de llanura abisal adosada a la base del talud continental. El objetivo principal de la investigación era localizar y cartografiar posibles HIC para aumentar el conocimiento sobre las especies y hábitats marinos, y conocer su estado de conservación y sus amenazas, para poder seleccionar y proponer lugares a incluir en la actual RN2000.

Para llevar a cabo estos estudios, en los que todos los componentes del ecosistema deben ser analizados y caracterizados, es necesario adoptar un enfoque holístico que garantice el estudio ecosistémico en su totalidad. Por ello, la investigación realizada fue multidisciplinar, involucrando la geología-geofísica, la oceanografía física, la biología (bentónica y pelágica), y la ecología. La presente tesis se ha centrado en el estudio de la geomorfología y la dinámica sedimentaria de las áreas de estudio, que condicionan el desarrollo de los diferentes hábitats. Los resultados, a su vez, proporcionan una base esencial para el resto de los estudios, como la modelización y cartografía predictiva de los hábitats, ya que el conocimiento de la configuración del fondo marino es esencial para comprender la distribución de las comunidades bentónicas y los patrones de circulación del fondo.

En la zona de estudio se producen procesos sedimentarios que generan las diferentes estructuras y depósitos que van a configurar los hábitats y desarrollo de orga-

nismos sésiles que forman los hábitat 1170 y 1180. Pero el desarrollo de estos hábitats no depende exclusivamente de los sustratos, sino que las condiciones ambientales son primordiales, y entre ellas los procesos de dinámica sedimentaria, como por ejemplo la intensa erosión por la combinación de olas y corrientes de marea, o la tasa de sedimentación, cuyo balance puede dar lugar al enterramiento de determinados hábitats impidiendo su crecimiento y hasta causando su desaparición.

Las fuertes corrientes en la plataforma continental son responsables de la escasa cobertura sedimentaria de la zona de estudio. Ercilla et al. (2008) consideran el margen cantábrico como desnutrido y la falta de sedimentos parece estar influenciada por el intenso régimen dinámico de la plataforma (Fanjul et al., 1997; Lavín et al., 2006; Pairaud et al., 2008). El transporte de sedimentos desde las sierras costeras hasta la llanura abisal se canaliza a través de los sistemas de cañones submarinos que surcan el talud continental, conectando la plataforma con la llanura abisal y controlando la distribución de los sedimentos. Del mismo modo, la tectónica regional juega un importante papel a la hora de controlar la orientación de los cañones submarinos y la presencia de afloramientos rocosos de alto relieve, ambas estructuras condicionantes para el asentamiento de corales y esponjas característicos del hábitat 1170.

El desarrollo del hábitat 1170 está condicionado por la tasa de sedimentación, ya que los corales pueden quedar sepultados por los sedimentos móviles no consolidados y la fuerte erosión tanto de las corrientes marinas como de los flujos de material terrígeno procedentes de tierra firme impedirían su crecimiento. Por ello, es fundamental conocer los procesos y dinámica en estas zonas. Desde hace tiempo se ha planteado la hipótesis de una estrecha relación entre el desarrollo de los arrecifes de coral de aguas frías y las características ambientales (Frederiksen et al., 1992; Freiwald et al., 2004; Freiwald & Roberts, 2005; Roberts et al., 2006, 2009; Hovland, 2008; Davies et al., 2009) y las pruebas que apoyan esta relación han aumentado rápidamente en los últimos años.

Varios factores ambientales favorecen el asentamiento y el crecimiento de los corales: sustratos duros, fuertes corrientes de fondo guiadas por la topografía, y aguas ricas en nutrientes que contienen materia orgánica lábil y zooplancton (Freiwald et al., 2004). La presencia de afloramientos rocosos y escarpes determina lugares preferentes para estas comunidades. Por otro lado, en la zona del sistema de cañones de Capbreton se localizan plataformas intertributarias que presentan un mayor espesor sedimentario que las áreas de plataforma. En estas plataformas se han

localizado extensos campos de *pockmarks*, lo que concuerda con el hecho de que el desarrollo de *pockmarks* se produce en zonas marinas de altas tasas de sedimentación, donde se desarrollan mayores espesores sedimentarios que favorecen el enterramiento de la materia orgánica (Judd & Hovland, 2007). Por lo tanto, estas son áreas potenciales para la degradación de la materia orgánica y la generación de fluidos profundos, así como para la migración de fluidos hacia la superficie, dando lugar a un enriquecimiento en carbonatos que podría generar estructuras submarinas producidas por el escape de gases y con especies quimiosimbiontes típicas del hábitat 1180.

La caracterización integral morfosedimentaria y los procesos son la base para la caracterización del ecosistema bentónico y para el desarrollo de los modelos de distribución de sus hábitats bentónicos sedimentarios y del sustrato rocoso. En este trabajo se han detectado zonas relevantes para el asentamiento de los hábitats 1170 y 1180 en los sustratos duros y en los sustratos blandos de ambos sistemas de cañones submarinos y, gracias a los estudios llevados a cabo, en el sistema de cañones de Avilés se pudo determinar la presencia del hábitat 1170, en base al cual la zona fue declarada como LIC de la RN2000. En cuanto al sistema de cañones de Capbreton, basándose en los resultados del estudio morfosedimentario desarrollado en la presente tesis, en las imágenes de vídeo de los ROV y ROTV y en las muestras obtenidas, la caracterización de las comunidades de fondo que se realizará en próximos estudios integrará los resultados de este trabajo y los datos biológicos para caracterizar las comunidades en los sustratos duros y campos de *pockmarks* y para determinar la presencia o no del hábitat 1170 y 1180 en el sistema de cañones del Capbreton. La caracterización morfosedimentaria es la base para cartografiar la distribución de hábitats, necesaria a su vez para la declaración de áreas marinas protegidas y para abordar medidas de gestión en materia de conservación y protección.

Uno de los principales valores del sistema de cañones submarinos de Avilés son sus recursos pesqueros. Durante decenas de años, las diferentes y numerosas modalidades de pesca del Principado de Asturias han ido acoplándose al escaso espacio disponible en una plataforma rica en especies pero limitada en superficie, para evitar en lo posible el solapamiento de sus actividades y los conflictos derivados de ello. En un impresionante ejemplo de adaptación competitiva, la flota pesquera asturiana ha ido ocupando sus respectivos espacios vitales en consonancia con el de sus especies objetivo. El resultado es un aprovechamiento masivo del espacio para aprovechar hasta el último recurso renovable que les permite la extraordinaria riqueza de un ecosistema singular e irrepetible (Sánchez et al., 2014a). Ahora, el nivel de compromiso de los futuros planes de gestión que puedan definirse en la zona

determinará que se pueda alcanzar el delicado equilibrio entre una correcta y duradera explotación económica de los recursos pesqueros en consonancia con la imprescindible protección de los hábitats y especies vulnerables que garantizan la salud de este ecosistema. Es un gran desafío en el que todos los sectores implicados deben de poner su voluntad para llevarlo a buen término (Sánchez et al., 2014a). Es imprescindible realizar el análisis de la integración de las áreas marinas protegidas en el contexto de la planificación espacial marina para revertir la degradación ambiental de los mares y océanos, y para facilitar el uso sostenible de los recursos marinos bajo un enfoque ecosistémico. Por ello, en la segunda parte de este trabajo se ha abordado la ordenación del espacio marítimo como medida de gestión para asegurar la protección y conservación de los mares y océanos y su biodiversidad.

8.2. Ordenación espacial marina

A lo largo del desarrollo del proyecto SIMNORAT, y en cada uno de los objetivos abordados, se han identificado barreras que requieren la colaboración de los Estados miembros para ser superadas, con el fin de llevar a cabo procesos de ordenación del territorio eficaces y coherentes. Una de estas barreras ha sido la definición de la escala geográfica.

Actualmente, las diferentes escalas de gestión se establecen en función del tamaño, la densidad y las características de las actividades, sus impactos, la vulnerabilidad ambiental y las estructuras de gobernanza existentes (UN, 1992). Para aplicar la ordenación del territorio en función de la zona y el tipo de actividad (Flannery & Cinneide, 2012) se prevé que «las zonas de uso denso o especialmente vulnerables pueden requerir planes espaciales más prescriptivos, mientras que las zonas de baja densidad de uso pueden requerir únicamente principios generales de gestión». En este caso, cuando es necesario descender a una escala de mayor resolución, esto debe ir acompañado de una mayor resolución también en la información o los datos espaciales, lo que no siempre es posible. Por ello, en las primeras fases del proceso PEM, es esencial identificar los objetivos generales y específicos, y disponer de los datos imprescindibles para abordar las diferentes escalas necesarias (Barbanti et al., 2005; Maes, 2008).

Los espacios marinos protegidos son un ejemplo concreto de esta necesidad de desarrollar planes de gestión a menor escala y específicos para estas zonas o, por el contrario, ampliar escalas más allá de los límites jurisdiccionales para los grandes ecosistemas marinos. Sin embargo, a pesar de las recomendaciones internacionales

para desarrollar este enfoque en la aplicación de la ordenación del espacio marítimo, los planes y los límites administrativos a menudo no coinciden con los límites de los procesos de los ecosistemas (Smith et al., 2012; Dunstan et al., 2016), especialmente en Europa, donde los límites jurisdiccionales marinos están demasiado cercanos y hay muchos estados implicados.

Los conceptos de la gestión basada en los ecosistemas (EBM, por sus siglas en inglés) parecen ser a menudo demasiado amplios, abstractos y complejos para su aplicación operativa (Douvere, 2008; Queffelec, 2013). Además, aunque existan instrumentos internacionales, esto puede representar problemas legales en un contexto transfronterizo, cuando los límites jurisdiccionales no coinciden con los límites del ecosistema y afecta a varios instrumentos y leyes en diferentes países (EC, 2008a). En este sentido, el estudio de caso piloto llevado a cabo en un área transfronteriza entre España y Portugal en el proyecto SIMNORAT ha supuesto un paso adelante en la comprensión de las demandas actuales y potenciales futuras para las áreas de conservación transfronterizas. Por primera vez se ha trabajado compartiendo los datos de conservación y presiones sobre el ecosistema, y analizando las barreras específicas para ambos países en la cooperación transfronteriza, considerando y proponiendo como opción potencial la gestión de un área marina protegida transfronteriza, incluyendo el enfoque de la gestión ecológica marina (Wang, 2004).

En cuanto a los datos espaciales, existe un acuerdo generalizado sobre el hecho de que la PEM debe basarse en los mejores datos espaciales disponibles, de alta calidad y actualizados (St. Martin & Hall-Arber, 2008; MedPAN, 2016). Los sistemas de información geográfica (SIG) son una herramienta muy útil para agregar los datos individualizados y realizar los análisis espaciales de la planificación (Wright & Heyman, 2008; Rodríguez & Uriarte, 2009; Rodríguez-Santalla et al., 2009; Galparsoro & Sagarminaga, 2010; Bliard et al., 2019). Sin embargo, antes de comenzar con el proceso de recopilación de datos, es esencial tener muy claro qué tipo de información y datos se van a necesitar, ya que no se trata de una ingesta de datos, sino que es primordial realizar un ejercicio previo de identificación de los datos necesarios en función de los objetivos del plan. En este punto reside otra de las principales barreras identificadas en el trabajo desarrollado en la presente tesis. Se trata de la falta de armonización y estandarización en la información georreferenciada tanto a nivel nacional como internacional en las áreas transfronterizas, ya que hay gran diversidad de formatos, sistemas de referencia de coordenadas, indicadores, unidades de medida, etc.

Algunas bases de datos públicas sobre geología, hábitats y variables oceanográficas a escala nacional e internacional (por ejemplo, EMODnet) son una fuente de información común; sin embargo, siguen existiendo lagunas en algunos tipos de datos, como en las zonas de ecosistemas marinos vulnerables o al considerar la definición de los «límites ecológicos» en la naturaleza dinámica de algunos elementos ecológicos importantes (por ejemplo, los mamíferos marinos). Además, la dificultad para acceder a la información confidencial de los sectores, en especial en el ámbito público, es una barrera importante, ya que esto ocurre incluso entre ministerios. Las principales limitaciones encontradas por cada país han sido la recopilación de datos y la elaboración de mapas, que requieren mucho tiempo, sobre todo en un contexto transfronterizo. Por ello, es substancialmente importante disponer de un conocimiento científico avanzado de estos lugares de especial protección para poder definir sus planes de gestión, además de disponer de la información cartográfica necesaria para ello, ya que llevar a cabo la investigación científica que determine la caracterización de los hábitats y el BEA de los ecosistemas no es objetivo de la PEM. La falta de conocimiento científico representa una laguna en el conocimiento completo de los servicios de los ecosistemas dentro de las regiones, tanto nacionales como transfronterizas, y de los beneficios que dichos servicios representan para la sociedad, por lo que la investigación científica debería ser apoyada por los sistemas de gobernanza.

Otro de los aspectos clave identificados en estos casos piloto son las interacciones que pueden surgir entre las actividades y los valores ambientales que suponen limitaciones u oportunidades para el desarrollo espacial de un sector. Es evidente que un plan tiene que tener en cuenta las demandas espaciales presentes y futuras; no obstante, a partir del análisis de la información recabada de los diferentes sectores, se ha determinado que en muchas ocasiones estas interacciones se abordan principalmente desde la perspectiva de las incompatibilidades y, por tanto, se reconocen como factores que limitan el desarrollo espacial de una actividad. En concreto, la interacción entre las actividades y la conservación ambiental es interpretada desde los sectores como una limitación o restricción impuesta por la normativa ambiental. El trabajo con los sectores realizado en los casos piloto ha permitido matizar estas interpretaciones, que con frecuencia son asumidas como postulados, y demostrar que las interacciones supuestamente negativas no siempre son reales si integramos bien la dimensión espacial y temporal, ya que no siempre están vinculadas a un conflicto por el reparto del espacio y/o de los recursos, sino que muchas veces se debe a un desconocimiento de las prácticas y reglas de uso de cada actividad.

Además, existen muchas interacciones positivas que pueden generar sinergias y oportunidades de codesarrollo, y que tampoco se están logrando por este desconocimiento. Esta situación aumenta su complejidad en las áreas transfronterizas, ya que, aunque los requisitos de la UE proporcionan la base para la cooperación, las diferencias en las estructuras administrativas y de gobernanza hacen que la colaboración sea compleja, y las diferencias en la normativa pueden causar limitaciones en la toma de decisiones conjunta. En lo que respecta a la conservación, el nivel de protección de un espacio marino protegido debe ser coherente con los objetivos de conservación y las presiones existentes que afectan a la región designada (Bliard, et al., 2019). El grado de protección de un determinado espacio es, por tanto, específico de cada país y de cada lugar (EC, 2013a) y, en algunos casos, se solapan diferentes herramientas de conservación, como por ejemplo, los LIC y ZEPA de la RN2000 y los lugares protegidos por OSPAR, especialmente en las áreas transfronterizas. Sin embargo, este solapamiento de las herramientas de designación no significa necesariamente que un lugar esté mejor protegido si existe más de una designación. Esto también apunta a la necesidad de dar coherencia a la gestión de varias designaciones en una misma zona.

Esta falta de coherencia se ha puesto de manifiesto en el trabajo llevado a cabo con las partes interesadas. La PEM debe ser un proceso consultivo integrado que englobe a todas las partes interesadas, tanto a nivel administrativo como de los sectores privados. La participación de las partes interesadas es esencial para garantizar el éxito del plan y deben ser parte activa del mismo desde el principio hasta el final (Ehler & Douvere, 2009). Sobre la base de los resultados obtenidos en el presente trabajo para mejorar la participación de las partes interesadas, se plantean varias cuestiones; la más destacada es cómo comunicar la ordenación del territorio al público en general para apoyar el compromiso de las partes interesadas.

Uno de los aspectos importantes resaltado por el proyecto fue que la ordenación del territorio genera muchas expectativas entre las partes interesadas y, en un contexto transfronterizo en el que los problemas sectoriales suelen ser comunes, las expectativas de cooperación transfronteriza son más fuertes. Otra cuestión importante es la necesidad de compartir y mejorar los conocimientos para crear una base sólida que pueda apoyar la toma de decisiones conjunta. Tras aplicar una metodología específica para la participación de las partes interesadas, estas manifestaron desconocer los antecedentes o los objetivos de otros sectores, lo que permitió contrastar diferentes opiniones e identificar las necesidades de los sectores, además de promover la mejora del conocimiento e incluso el descubrimiento de algunas actividades propuestas (por ejemplo, el turismo azul compatible con la pesca artesanal). Si estos

foros de intercambio se convierten en permanentes, podrían facilitar la identificación de sinergias y la mejora de la cooperación entre los sectores empresariales, pero también entre estos sectores y la dimensión de la conservación, para aplicar medidas eficaces de protección del medio ambiente.

La percepción general de los sectores con respecto a la conservación del medio ambiente y el mantenimiento de los servicios de los ecosistemas es buena, se entiende y se acepta, pero existen dudas y desconfianza sobre cómo debe aplicarse y afirman que siempre son los mismos sectores los más afectados; es decir, aquellos más invasivos, como la explotación de hidrocarburos o la pesca. El estudio realizado en los casos piloto ha determinado que la participación a todos los niveles es necesaria, y fundamental a nivel local, ya que son determinados actores quienes conocen las especificidades de cada zona y, por lo tanto, no solo son capaces de ofrecer soluciones concretas a los problemas locales, sino también de hacer notar la falta de información donde corresponda. Las autoridades competentes deben promover la comprensión del proceso de planificación y los roles de todos los sectores y unidades administrativas involucradas, poniendo de manifiesto la importancia de los debates y el compromiso de las partes interesadas para promover las sinergias y limitar los conflictos, y para facilitar la aceptabilidad social, lo que es igualmente importante.

8.3. Implementación del enfoque ecosistémico en la OEM

A través de la experiencia adquirida en los casos pilotos que se han llevado a cabo, se ha pretendido avanzar en el conomimiento de la implementación del enfoque ecosistémico en la planificación espacial marina. En la literatura (BirdLife International, 2021; EU, 2021c) se han definido principios clave sobre cómo debe aplicarse el enfoque basado en el ecosistema (EBA) y, en concreto, cómo debe aplicarse a lo largo de un proceso PEM. Se podrían agrupar fundamentalmente en tres grandes temas que representan los principales aspectos del EBA (Figura 88): conocer el funcionamiento y la dinámica de los ecosistemas marinos; monitorizar las actividades humanas y las consideraciones socioeconómicas pertinentes, incluidas sus interconexiones con los ecosistemas marinos; y la organización del proceso PEM en relación con la gobernanza y la gestión. La investigación para generar conocimiento científico estaría englobada en el primer grupo, ya que la asignación de las actividades humanas en el océano se basará en los mejores conocimientos disponibles sobre los componentes bióticos, abióticos y humanos de los ecosistemas, así como sus interacciones y la sensibilidad del ecosistema a actividades humanas específicas.

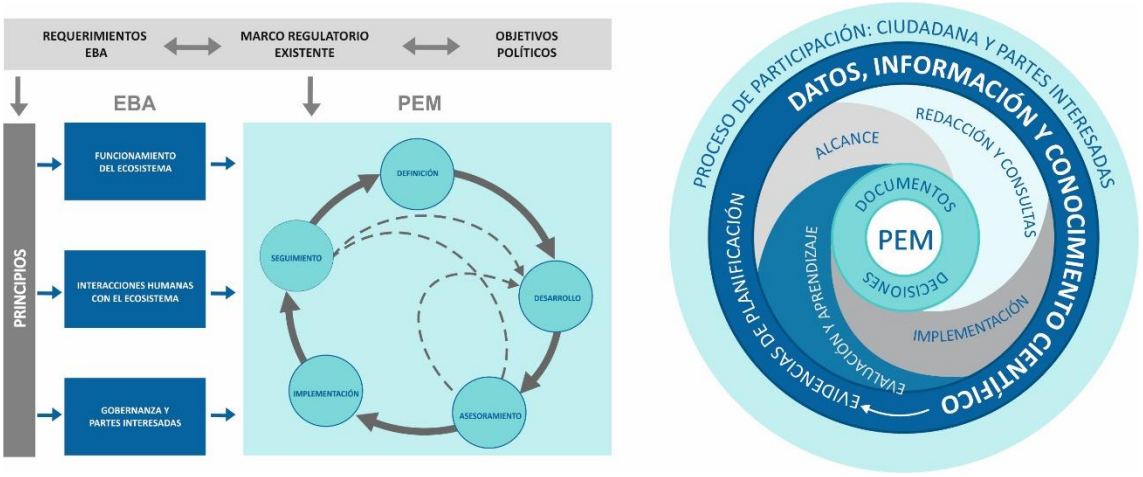


Figura 88. Principios del enfoque basado en el ecosistema (EBA) y su relación con la Planificación Espacial Marina (PEM), e importancia de disponer de la mejor información y datos científicos.

Los planes de ordenación del espacio marino deben elaborarse sobre la base de unos datos exhaustivos y de una modelización adecuada de los hábitats y especies, además de incluir un programa de recogida de datos adicionales para cubrir las lagunas de conocimiento (BirdLife International, 2021). La cartografía de los fondos marinos y sus hábitats es primordial para realizar una cartografía de sensibilidad ecológica de las amenazas en el mar. Es necesario elaborar mapas que incorporen la sensibilidad de los componentes individuales del ecosistema y que abarquen toda la región del plan, no solo las áreas protegidas. Del mismo modo, es fundamental realizar las evaluaciones de impacto acumulativo, vital para evaluar todas las presiones sobre el ecosistema marino en sinergia y estimar la presión global de todos los impactos sobre el medio marino y sus recursos, y determinar su capacidad de carga. Se deben analizar los impactos acumulativos, directos/indirectos, a corto/largo plazo, permanentes/temporales y positivos/negativos de las actividades y los usos humanos en todas las zonas cubiertas por la ordenación del espacio marítimo para evitar, en última instancia, que se supere la capacidad de carga del medio marino. Además, el plan debe tener en cuenta los distintos efectos sobre el ecosistema causados por las actividades humanas y las interacciones entre las actividades humanas y el ecosistema, así como entre las distintas actividades humanas, lo que incluye interrelaciones como la interacción mar-tierra.

Igualmente necesario es mantener una coherencia ecológica para asegurar el EBA, y tanto la coherencia de la red de espacios protegidos como la conectividad ecológica general fuera de las áreas protegidas debe reforzarse. Existen diferentes zonas o figuras de protección desde el punto de vista ecológico, pero seguramente todas ellas

en su conjunto son corredores suplementarios, y la PEM debería ser una herramienta para reducir de los efectos de barrera y avanzar hacia una red coherente, bien conectada y representativa de áreas marinas protegidas. En este sentido, en España, el RD 363/2017 OEM (BOE, 2017) incluye los elementos de la Infraestructura Verde Marina (MITERD, 2020) como otro «uso» a considerar en los planes, lo cual apoyaría la aplicación del enfoque ecosistémico (Gubbay, 2004; Domínguez-Tejo, 2016). En España, se ha desarrollado la Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (IVCRE) sobre la base del artículo 15 de la Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (BOE, 2007), modificada por la Ley 33/2015 (BOE, 2015), para la identificación y conservación de los elementos del territorio que componen la Infraestructura Verde del territorio español, terrestre y marino (MITERD, 2020). Para ello, la AGE, a través de la IVCRE, los POEM de cada DM y el Plan Director de la Red de Áreas Marinas Protegidas de España (RAMPE, establecido a través de la Ley 41/2010 [BOE, 2010]), promoverá los elementos marinos de la Infraestructura Verde para garantizar la coherencia ecológica en todo el sistema, así como la conectividad entre, y más allá, de las áreas protegidas.

Para lograr que el EBA quede integrado en la PEM, de acuerdo a los principios del segundo grupo, también es necesario evaluar los servicios ecosistémicos. La PEM debe identificar los beneficios que el entorno natural proporciona a los seres humanos, sobre todo para permitir una evaluación socioeconómica de los efectos conocidos y los potenciales. La participación pública, una comunicación transparente y una apropiación democrática de las partes interesadas son claves a lo largo de todo el proceso. La PEM es fundamentalmente un proceso cíclico y adaptativo, por lo que la participación de las partes interesadas ha de ser continua y en todas las etapas del proceso. Esta participación debe incluir también a las partes interesadas y autoridades competentes de los estados ribereño vecinos, ya que las actividades en las zonas marinas de los países pueden tener efectos importantes en la biodiversidad marina más allá de los limites jurisdiccionales, por lo que la cooperación bilateral y regional es vital para garantizar la coherencia de la PEM y asegurar una gestión transfronteriza.

El tercer grupo de principios del EBA en la PEM incluye los aspectos relacionados con la gobernanza y la gestión, y para ello la PEM debe ser coherente con las políticas y legislación pertinentes, desde el nivel local hasta el de la UE y el internacional. En particular, la PEM debe alinearse con las Directivas de Aves y Hábitats, la Directiva de Estrategias Marinas, la Política Pesquera Común y la Estrategia de Biodiversidad 2030 de la UE. En el caso de España, la implementación de la DOEM se ha realizado mediante el RD 363/2017 OEM (BOE, 2017) a través de la Ley 41/2010 de Protec-

ción del Medio Marino (BOE, 2010), alineando el ciclo de la ordenación del espacio marítimo con el ciclo de evaluación de la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM). La ordenación del espacio marítimo, al ser un proceso cíclico y secuencial, incluye el seguimiento, la revisión y la evaluación de los planes. Cuando en este proceso se identifiquen deficiencias en el plan actual (por ejemplo, la falta de cartografía de sensibilidad), se debe disponer de los datos necesarios y del mejor conocimiento científico para el análisis, y hay que realizar una actualización del plan. Para alinearse mejor con la DMEM y garantizar una adaptación oportuna, varios Estados miembros de la UE ya han acortado el ciclo de evaluación de sus PEM; entre ellos España, que lo ha reducido a seis años vinculándolo con los ciclos de la DMEM, y recopilando la información ecológica necesaria a través de los planes de seguimiento de la DMEM para los diferentes descriptores marinos.

Una PEM basada en el ecosistema debería proponer áreas para diferentes actividades humanas en las que se puedan minimizar los impactos ecológicos sobre los hábitats y las especies, al tiempo que se tienen en cuenta las necesidades de las actividades humanas. Para ello es necesario evaluar las distribuciones de esas especies/hábitats y desarrollar puntuaciones de sensibilidad de las especies/hábitats en función de las características que influyen en su vulnerabilidad a la actividad prevista. Este tipo de información ayuda a los responsables de la toma de decisiones a identificar las zonas óptimas para asignar y/o prohibir determinadas actividades humanas. En general, la ordenación del espacio marítimo debe identificar medidas para evitar, mitigar o compensar los impactos negativos en los ecosistemas marinos y proteger los recursos naturales, respetando la capacidad de los ecosistemas para responder a los cambios inducidos por el hombre.

La OEM sigue un proceso de desarrollo cíclico, en el que la participación de las partes interesadas y del público constituyen la base de un proceso democrático, equilibrado y transparente (Figura 22). En esencia, una ordenación del espacio marino nunca está terminada, sino que es un proceso que se adapta continuamente a un entorno cambiante, los avances científicos y la innovación tecnológica. Los impactos y presiones sobre el medio ambiente marino son acumulativos y no se detienen en las fronteras geográficas, de ahí la necesidad de continuar con los intercambios de buenas prácticas, de aprender y coordinarse a nivel mundial, y de potenciar los estudios científicos que sentarán las bases para mejorar los siguientes ciclos de los planes para lograr una eficaz y eficiente gestión del medio marino y sus recursos. Se hace necesario construir una ciencia más sólida, integrar mejor los datos y el conocimiento, aumentar la capacidad y mejorar la interfaz ciencia-política, para enfrentarnos a los nuevos desafíos y retos que aún quedan por afrontar como sociedad y como planeta.

8.4. Ciencia aplicada

La ciencia también trabaja en el fortalecimiento de la capacidad institucional de los países para formular y aplicar políticas públicas y marcos normativos que permitan aumentar la eficiencia en la gestión sostenible de los recursos naturales y en la prestación de servicios públicos y de infraestructura. En este sentido, la cartografía de los fondos marinos es básica para la ejecución de algunas directivas europeas transpuestas al Derecho español, y el IEO está directamente implicado en este proceso, proporcionando la cartografía y caracterización de los fondos marinos. En un estudio del impacto social de los programas de ciencia, se debería plantear una doble necesidad: por un lado, conocer si los recursos invertidos están teniendo un impacto real en la calidad de vida y en la riqueza del país y, por otro, disponer de información que permita rendir cuentas ante la sociedad a la que sirve en general y los grupos de interés en particular, además del impacto de rendimiento económico. En este sentido, los resultados de la presente tesis están siendo aplicados en la declaración, gestión y protección de los espacios marinos protegidos de competencia estatal, para la evaluación y el seguimiento de la RAMPE y para el POEM, en cumplimiento con las directivas Hábitat (DH), de estrategias marinas (DMEM) y de planificación espacial marina (DOEM).

Por tanto, estos resultados tienen un impacto sobre la vida y riqueza del país que quedaría demostrado a través de indicadores cualitativos, como podría ser el lograr buen estado de conservación ambiental (BEA), e indicadores cuantitativos, como serían los POEM para gestionar de manera sostenible con el medio marino los diferentes usos y actividades. En cuanto al impacto económico, se vería derivado de la aplicación del uso sostenible del medio marino e impulso de la economía azul. La ciencia aplicada debe estar basada en las necesidades de una sociedad sostenible con el entorno natural del planeta, y debe ser capaz de dar respuesta a objetivos científicos, intereses estratégicos de los Estados, y a las demandas de las políticas en materia de conservación medioambiental y desarrollo socioeconómico, teniendo en cuenta no solo la generación de conocimiento, sino también la resolución de las necesidades presentes y futuras de la sociedad.

Las normativas de la UE en materia de conservación medioambiental, junto con la política marítima integrada, son muestra de la respuesta europea frente a la creciente preocupación por el deterioro de los ecosistemas marinos, y sienta las bases para un marco de gobernabilidad de los mares europeos. El mayor desafío al que se enfrenta la humanidad en este siglo es garantizar que la marcha de la civilización no degrade tanto el medio ambiente global como para dañar irreparablemente el planeta del que

depende nuestra propia supervivencia. La biosfera afronta múltiples crisis, entre ellas el cambio climático, la destrucción de los ecosistemas, el colapso de la biodiversidad y la degradación de los océanos. La pregunta es si un mundo tan organizado (o, más exactamente, desorganizado) podrá abordar graves desafíos ambientales que no prestan atención a las fronteras nacionales. En un planeta ecológicamente interdependiente, las acciones tomadas pueden generar efectos indirectos transfronterizos. Es en este sentido donde la planificación espacial marítima juega un importante papel, con especial énfasis en las áreas transfronterizas.

CAPÍTULO 9

Conclusiones y recomendaciones



Mar Cantábrico (Foto: María Gómez)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Se ha realizado la caracterización geológica de los sistemas de cañones submarinos de Avilés y Capbreton, que abarcan extensiones que llegan hasta grandes profundidades, de los que prácticamente no se tenía ningún dato científico. Los fondos rocosos batiales son un tipo de hábitat característico de los grandes sistemas de cañones submarinos del Cantábrico por su característica esencial como bioconstructores. Acceder a las zonas profundas y escarpadas de los cañones ha sido posible por primera vez en estas áreas. Esta información sobre los hábitats contemplados en las directivas europeas resulta imprescindible para la posible declaración como áreas protegidas y sus medidas de gestión en la planificación espacial marina.

Estas son las conclusiones que se derivan del estudio realizado.

CARACTERIZACIÓN GEOLÓGICA

— La plataforma continental en el Cantábrico nororiental presenta una morfología generalmente plana en alternancia con aflojamientos rocosos, con escasa cobertura sedimentaria no consolidada como consecuencia del elevado régimen hidrodinámico que afecta al margen cantábrico. Esta dinámica favorece el transporte de material sedimentario a lo largo del talud a través de los sistemas de cañones submarinos, como el de Avilés y Capbreton, que conectan la plataforma continental con la llanura abisal.

— Los afloramientos rocosos de la plataforma continental corresponden a amplias zonas de rocas basales erosionadas (mesozoicas y paleozoicas). Localmente, estos afloramientos pueden alcanzar elevados relieves como altos estructurales, y se muestran muy fracturados y plegados, indicando que el margen cantábrico nororiental está muy condicionado por la tectónica. El sistema de cañones de Avilés (SCA), que incluye de este a oeste el GC, el CC y el AC, muestra un claro control estructural en su morfología actual, tal y como demuestran las marcadas curvas cercanas a los 90° de sus ejes.

— El sistema de cañones de Capbreton (SCCB) presenta una serie de plataformas tributarias cuya evolución está relacionada con la actividad tectónica de la zona, encajadas entre cañones tributarios a favor de fallas que controlan la evolución de las mismas y generan un basculamiento de las plataformas hacia el norte. El análisis de la morfología y la interpretación de los perfiles de reflexión sísmica de muy alta resolución ha permitido identificar estas estructuras

que confirman su origen y control tectónico. Sin embargo, la limitada penetración de la fuente sísmica utilizada en este trabajo no ha sido suficiente para analizar la estructura tectónica más profunda de las zonas mencionadas.

— Las plataformas intertributarias del SCCB presentan extensos campos de *pockmarks* que se encuentran localizados en las zonas más distales de las mismas, donde la acumulación de material fino rico en materia orgánica es mayor. La presencia de estos rasgos es indicativa de la frecuente aparición de escapes de fluidos desde los sedimentos subyacentes en esta zona. La presencia de *paleopockmarks* analizados en los perfiles sísmicos de alta resolución indican que en el pasado también se produjeron escapes de gas/fluido. Estos se han observado en ocasiones alineados a favor de las principales direcciones estructurales de la zona, revelando que la tectónica también jugó un papel importante en su génesis.

— Los procesos sedimentarios en esta parte del margen cantábrico parecen estar condicionados por una fuerte hidrodinámica en la plataforma, que es responsable del transporte de sedimentos a la llanura abisal a través de los grandes cañones, de sus tributarios y de otros canales que surcan el talud. Los procesos erosivos y la actividad tectónica de la zona son los principales responsables de las estructuras cartografiadas como deslizamientos por gravedad o megadeslizamientos y terrazas submarinas. Estas terrazas han sido cartografiadas principalmente en el SCCB con presencia, además, de antiguos paleocauces o meandros abandonados del curso principal, donde la actividad erosiva del cañón principal se intensifica. El transporte en masa ha sido identificado a partir de las evidencias de rasgos morfológicos a lo largo del talud continental, especialmente en los cañones tributarios y el sistema de canales o *gullies*, lo que confirma que la circulación de las masas de agua desempeña una fuerte componente en la dinámica y morfología de los sistemas de cañones en este margen continental y tienen una influencia crítica en la configuración y la distribución de los diferentes materiales sobre la plataforma.

— La carga sedimentaria transportada por ambos sistemas de cañones hacia la llanura abisal se moviliza con dirección oeste por la presencia de dos canales oceánicos profundos, y son las corrientes profundas las responsables de este transporte de sedimentos. Los procesos deposicionales son más pronunciados en el SCA, donde se han observado campos de *ripples* en la plataforma y numerosos cantos rodados alóctonos dragados en su incisión axial, además de la presencia en su desembocadura de un campo de ondas de arena. La existencia

de los dos canales oceánicos profundos en la pequeña área prospectada de la llanura abisal de Vizcaya, que discurren paralelos al pie de talud, puede relacionarse con el abanico distal del sistema turbidítico Cap Ferret-Capbreton. La corriente turbidítica hacia el oeste podría tener aquí una alta capacidad erosiva, ya que, además de los canales oceánicos profundos, se han identificado morfologías de origen erosivo, como pronunciados escarpes.

— Los sustratos duros se han cartografiado principalmente en la zona de la plataforma continental, donde son dominantes, y en la base del megadeslizamiento situado al este del sistema de cañones de Capbreton. Este es el basamento de las especies estructurantes que proporcionan tridimensionalidad al sustrato, y sirve de soporte y protección para otras especies, potenciando la biodiversidad del entorno y el desarrollo del hábitat 1170. Por su parte, los sustratos blandos o sedimentarios, como los identificados en las plataformas intertributarias del Capbreton, presentan extensos campos de *pockmarks* susceptibles de albergar el hábitat 1180. Los resultados presentados en esta tesis han sido la base para apoyar otros trabajos centrados en la cartografía y modelización de los hábitats bentónicos, con el objetivo final de identificar y cartografiar los ecosistemas marinos vulnerables que necesitan la adopción de medidas de conservación.

— El estudio detallado de la geomorfología de los fondos marinos, junto con la identificación de las principales comunidades biológicas que habitan en los fondos, es esencial para la caracterización de los hábitats. Solo a partir de esta combinación de análisis geológicos y biológicos se pueden realizar los modelos predictivos de distribución de hábitats, requeridos para la declaración de los espacios marinos protegidos. Los estudios geológicos son necesarios para diseñar una red coherente de áreas o espacios marinos protegidos (en España, la RAMPE), identificando información relevante (relieves singulares como cañones, *seamount*, pockmarcks…), conectividad (mecanismos de transporte, barreras de fragmentación…), representatividad de un área, etc., que son criterios clave de selección de un espacio marino protegido. La información obtenida sobre la distribución y características de estos hábitats es fundamental para el desarrollo de planes de gestión y la designación de áreas protegidas, incluyendo las necesidades de conservación de estos hábitats y las interacciones con los usos y actividades humanas.

APLICACIÓN DEL CONOCIMIENTO CIENTÍFICO ADQUIRIDO EN LA PLANIFICACIÓN Y GOBERNANZA DEL ESPACIO MARINO

— Las investigaciones llevadas a cabo, como las de la presente tesis, han demostrado que es necesario abordar los estudios de los ecosistemas marinos desde un enfoque holístico y con una metodología multidisciplinar, preferentemente no invasiva, que proporcione el conocimiento científico necesario para alcanzar una gestión del espacio marino bajo una aproximación ecosistémica acorde a las políticas actuales, en particular a la Directiva de Planificación Espacial Marina. Conocer los ecosistemas marinos es fundamental para poder lograr una planificación espacial marina que garantice un desarrollo sostenible de los recursos marinos y la preservación de los servicios ecosistémicos.

— Los resultados de esta tesis han contribuido a la conservación y gestión de los hábitats bentónicos vulnerables en el territorio español (RAMPE): el SCA ya ha sido declarado como LIC de la RN2000 y el SCCB se encuentra en proceso de ser presentado para su declaración, una vez se determinen la zonificación de estos hábitats y se establezcan los límites del futuro LIC. Los trabajos llevados a cabo en el SCA demostraron la presencia de hábitats de interés comunitario para su declaración como LIC, y actualmente se trabaja en el plan de monitorización y gestión de la zona para ser declarado como ZEC.

— La coherencia entre la Directiva Marco sobre la Estrategia Marina (DMEM) y la PEM es una perspectiva importante para abordar los retos medioambientales, económicos y sociales, y por tanto los objetivos de los espacios marinos protegidos y de los diferentes sectores marítimos. Sin embargo, el trabajo realizado en la presente tesis concluye que aún existen lagunas de información sobre las que profundizar, como la definición de las escalas del plan, ya que debido a la diferencia entre la escala ecológica y la escala social/de gestión, no hay una única escala coherente, y es necesario proporcionar una solución de enfoque anidado que articule múltiples escalas en función de las necesidades.

— Los datos espaciales necesarios para desarrollar un proceso de PEM deben abordarse siguiendo guías comunes, a fin de superar los problemas de interoperabilidad encontrados y la falta de armonización y estandarización entre ellos, tanto a nivel nacional como trasfronterizo, por lo que se hace necesario un modelo de datos común para la PEM que fomente el uso compartido de la mejor información disponible.

— Resulta necesario disponer de una imagen completa y real de las diferentes actividades desarrolladas en el mar o con impacto sobre este, como, por ejemplo: A) la pesca artesanal, que es una actividad no representada correctamente en la distribución espacial de esfuerzo pesquero ya que, al tratarse de embarcaciones menores, no tienen la obligación de instalar el VMS o sistema de seguimiento de buques (VMS, por su siglas en inglés); B) el turismo costero ya que la PEM no aborda la planificación litoral.

— Se ha puesto de manifiesto que existen datos de carácter sensible de difícil acceso para la autoridad competente y de compleja representación en los POEM por su carácter no público. En concreto, se trata de datos relativos a la defensa nacional o a la protección del patrimonio subacuático y los relativos a los sectores pesqueros locales, que habrían de ser reportados por las DG de pesca de las CCAA. Se identifica que, aunque existe una coordinación entre AGE y CCAA, la coordinación a nivel administraciones locales es un aspecto a mejorar.

— Teniendo en cuenta el carácter transfronterizo de los recursos, las actividades marítimas y los ecosistemas marinos, se ha comprobado que es necesario que exista coordinación y cooperación entre los países vecinos para garantizar la coherencia entre los planes en las áreas trasfronterizas, además de los instrumentos ya existentes, como el Convenio de Barcelona u OSPAR. La cooperación a nivel transfronterizo con Estados miembros y terceros países se ha articulado en el proceso nacional mediante proyectos pilotos como los que se han desarrollado en la presente tesis. Este trabajo ha evidenciado que los proyectos transfronterizos sirven de motor para la activación de negociaciones transfronterizas, al establecer un primer contacto informal entre las instituciones involucradas a diferentes niveles.

— Este trabajo ha puesto de manifiesto la necesidad de que sean las propias instituciones involucradas las que participen en el proceso de ordenación a nivel nacional, para que los resultados de estos tengan una eficacia real en los procesos de ordenación del espacio marítimo (OEM) en los diferentes países.

— El método de cooperación y colaboración desarrollado en la presente tesis se considera potencialmente interesante para involucrar a las partes interesadas a lo largo de todo el proceso de OEM, ya que ha promovido el intercambio de experiencias entre países vecinos y el inicio de reuniones e iniciativas con un enfoque común. Esta metodología ha demostrado su eficacia para la creación de comités transfronterizos en la gestión de espacios marinos protegidos.

— Abordar la gestión y gobernanza de nuestros océanos considerando tanto los cambios naturales como las presiones antropogénicas es un reto de la sociedad actual y de sus gobernantes. Desde luego, este reto no podría ser afrontado sin una base de conocimiento científico sobre el funcionamiento de unos sistemas dinámicos y globales como los océanos y sus ecosistemas. Por ello, la generación de nuevo conocimiento científico es fundamental para establecer las bases que ayuden a la toma de decisiones y la gestión sostenible del mar y sus recursos. La presente tesis, cuyos resultados han sido aplicados en la creación de la RN2000 y el proceso nacional de OEM, demuestra los beneficios de la ciencia aplicada a la gestión de los océanos y en el diálogo ciencia-política.

REFLEXIÓN SOBRE HACIA DÓNDE DEBE IR LA GESTIÓN Y GOBERNANZA DEL ESPACIO MARINO

La necesidad de una mejor comprensión de la dinámica sedimentaria de ambos sistemas de cañones submarinos, y los de impactos antropogénicos en sus ecosistemas, son un reto pendiente y objeto de futuros proyectos como continuación a esta tesis. Estos avances permitirían mejorar el asesoramiento en las medidas de gestión para proteger los ecosistemas de los sistemas de cañones del caso de estudio y extrapolar ese conocimiento a otras áreas.

Asimismo, para mejorar el conocimiento que las presiones humanas ejercen sobre los hábitats y el impacto de éstas, es necesario incrementar los sistemas de monitorización *in situ* con el objeto de incrementar el detalle de los estudios. El aumento de la resolución espacial de los datos es clave para determinar la representatividad y superficie de ocupación, el estado y grado de conservación y la sensibilidad y/o vulnerabilidad ante las principales presiones de los hábitats. La variabilidad estacional de los diferentes parámetros fisicoquímicos de la capa de agua próxima al fondo, puede permitir estimar sus efectos sobre el estado de conservación de los hábitats, y esto solo serían posible mediante monitorización en continuo y no muestreos puntuales. Además, estudios recientes sobre los efectos de la pesca en los hábitats (Punzón et al., 2016; Sánchez et al., 2022) han concluido que, para estimar el grado de afectación de las actividades antrópicas, sería importante el planteamiento de estudios de sedimentos en las paredes de los cañones para verificar el grado de impacto sobre los hábitats (Puig et al., 2012), producido por los deslizamientos sedimentarios de las actividades de la pesca de arrastre localizadas en zonas del borde de la plataforma y del talud continental superior.

Además, en la presente tesis se ha obtenido información muy valiosa sobre la importancia de otros tipos de hábitats no incluidos en la DH y que, según los criterios

científicos, deberían ser propuestos para su inclusión y, por lo tanto, contribuir a su mejora en cuanto a la representación de hábitats marinos se refiere. Los sistemas de cañones son un claro ejemplo de tipos de hábitats profundos a mejorar en el Anexo I de la DH, como ocurre también con los hábitats biogénicos sobre fondos sedimentarios, maërl o rodolitos, y fondos de cascajo.

En el caso particular de las dos zonas de estudio se propone llevar a cabo nuevas aproximaciones metodológicas en el futuro:

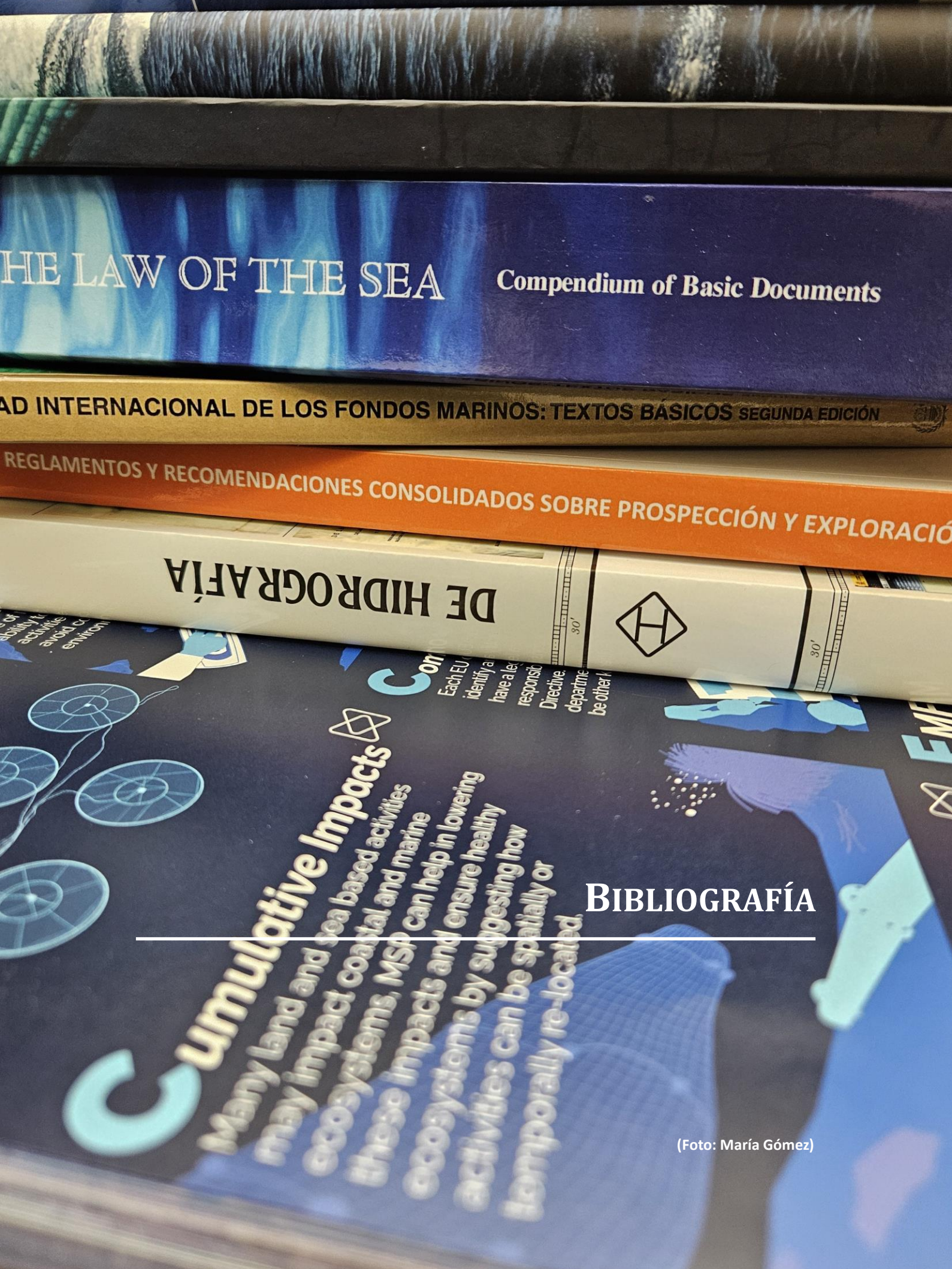
— Estudio detallado de los tipos de fondos que se manifiestan en los cañones submarinos, como principal componente ambiental de los hábitats bentónicos, para mejorar la resolución de los datos en los fondos profundos de los cañones y sus tributarios mediante el empleo de ecosondas multihaz de última generación o el empleo de vehículos autónomos submarinos en las zonas posibles de acceso.

— Estudio detallado de la dinámica oceanográfica que gobierna la producción biológica en los cañones, mediante la instalación de plataformas multiparamétricas sumergidas (tipo *landers*) durante largos periodos de tiempo.

— Estudio detallado de los procesos sedimentarios en las paredes de los cañones mediante el fondeo de sensores de turbidez y trampas de sedimento en las paredes de los cañones.

— Identificación y cálculo de los servicios del ecosistema de los diferentes hábitats identificados en el LIC SAC y en el futuro LIC CSBC.

BIBLIOGRAFÍA



(Foto: María Gómez)

Abad-Uribarren, A., Prado, E., Sierra, S., Cobo, A., Rodríguez-Basalo, A., Gómez-Ballesteros, M., Sánchez, F. (2022). Deep learning-assisted high resolution mapping of vulnerable habitats within the Capbreton Canyon system, Bay of Biscay. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 275*. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107957

Abercrombie, M., Hickman, C. J., & Johnson, M. L. (1966). *A Dictionary of Biology*. Penguin.

Abjean, M., & Carval, D. (2019). SIMWESTMED – Analysis of data needs and existing gaps (R16). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2598577

ADRIPLAN (2015). ADRiatic Ionian maritime spatial PLANning. [http://adriplan.eu/]. EU DG MARE Calls for Proposal under the theme "Maritime Spatial Planning (MSP) in the Mediterranean sea and/or the Black Sea". https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/projects/adriatic-ionian-maritime-spatial-planning

Airoldi, L., Abbiati, M., Beck, M. W., Hawkins, S. J., Jonsson, P. R., Martin, D., Moschella, P. S., Sundelöf, A., Thompson, R. C. & Åberg, P. (2005). An ecological perspective on the deployment and design of low-crested and other hard coastal defence structures. *Coastal Engineering, 52*(10-11), 1073-1087. https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2005.09.007

Airoldi, L., Balata, D., & Beck, M. W. (2008). The Gray Zone: Relationships between habitat loss and marine diversity and their applications in conservation, *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 366*(1-2), 8-15. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.034

Allen, S. E. & Durrieu de Madron, X. (2009). A review of the role of submarine canyons in deep-ocean exchange with the shelf. *Ocean Science, 5,* 607-620, https://doi.org/10.5194/os-5-607-2009

Altuna, A. (1995). El orden Scleractinia (*Cnidaria, Anthozoa*) en la Costa Vasca (golfo de Vizcaya); especies batiales de la fosa de Capbreton [The order Scleractinia (*Cnidaria, Anthozoa*) in the Basque coast (Biscay Golf); bathyal species of the Capbreton canyon]. *MUNIBE (Ciencias Naturales - Natur Zientziak)*, 47, 85-96. ISSN 0214-7688

Altuna, A., & Ríos, P. (2014). Scleractinia (Cnidaria: Anthozoa) from INDEMARES 2010-2012 expeditions to the Avilés Canyon System (bay of Biscay, Spain, Northeast Atlantic). *Helgoland Marine Research*, *68*, 399-430. https://doi.org/10.1007/s10152-014-0398-z

Álvarez-Marrón, J., Pulgar, J. A., Dañobeitia, J. J., Pérez-Estaún, A., Gallastegui, J., Martínez-Catalán, J. R., Banda, E., Comas, M. C., Córdoba, D. (1995). Results from ESCIN-4 marine deep seismic profile in the northern Iberian Margin. *Revista de la Sociedad Geológica de España, 8*(4), 355-364. ISSN 0214-2708.

Anderson, J. T., Van Holliday, D., Kloser, R., Reid, D. G., & Simard, Y. (2008). Acoustic seabed classification: Current practice and future directions. *ICES Journal of Marine Science, 65*(6), 1004-1011. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsn061

Ansong, J., Gissi, E., & Calado, H. (2017). An approach to ecosystem based management in maritime spatial planning process. *Ocean & Coastal Management, 141*, 65-81. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.03.005

Antobreh, A. & Krastel, S. (2006). Morphology, seismic characteristics and development of Cap Timiris Canyon, offshore Mauritania: A newly discovered canyon preserved off a major arid climatic region. *Marine and Petroleum Geology*, *23*(1), 37-59. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2005.06.003

Arzola, R. G., Wynn, R. B., Lastras, G., Masson, D. G., Weaver, P. P. E. (2008). Sedimentary features and processes in the Nazaré and Setúbal submarine canyons, west Iberian margin. *Marine Geology, 250*(1-2), 64-88. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.12.006

Azevedo, A., Da Silva, J. C. B., & New, A. L. (2006). On the generation and propagation of internal solitary waves in the southern Bay of Biscay. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 53*(6). 927-941. https://doi.org/10.1016/j.dsr.2006.01.013

Barbanti, A., Campostrini, P., Musco, F., Sarretta, A., & Gissi, E. (2015). *Developing a Maritime Spatial Plan for the Adriatic-Ionian Region*. ISMAR-CNR. https://hdl.handle.net/11578/261570

Barreira López, A. (Dir.) (2009). *Gobernanza para la protección del medio marino en España: Guía Práctica*. Instituto Internacional de Derecho y Medio Ambiente (IIDMA).

Bassan, N., Manea, E., Maragno, D., Innocenti, A., Fabbri, F., Morelli, M., Campostrini, P., Gissi, E., & Musco, F. (2019). SIMWESTMED – Recommendations on the procedural steps to follow for the development of cross-border MSP (R3). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2592022

Bayles, B., Brauman, K., Adkins, J., Allan, B., Ellis, A., Goldberg, T., Golden, C., Grigsby-Toussaint, D., Myers, S., Osofsky, S., Ricketts, T., & Ristaino, J. (2016). Ecosystem Services Connect Environmental Change to Human Health Outcomes. *EcoHealth, 13*, 443-449. https://doi.org/10.1007/s10393-016-1137-5

Bellido, J., Brown, A., Valavanis, V., Giráldez, A., Pierce, G., Iglesias, M., & Palialexis, A. (2008). Identifying essential fish habitat for small pelagic species in Spanish Mediterranean waters. In Valavanis, V. D. (Eds.) *Essential Fish Habitat Mapping in the Mediterranean. Developments in Hydrobiology, 203*. Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-9141-4_13

Berné, S., Lericolais, G., Marsset, T., Bourillet, J. F., de Batist, M. (1998). Erosional offshore sand ridges and lowstand shorefaces: examples from tide- and wave-dominated environments of France. *Journal of Sedimentary Research, 68*(4), 540-555. https://doi.org/10.2110/jsr.68.540

BirdLife International (2021). *How to apply the ecosystem-based approach in Marine Spatial Planning – Position Paper*. Marine Policy Officer, BirdLife Europe & Central Asia. https://www.birdlife.org/wp-content/uploads/2021/11/How-to-apply-the-ecosystem-based-approach-in-Marine-Spatial-Planning.pdf

Biscara, L., Herve, G., & Cirac, P. (2007). Analyse morpho-structurale du glissement de Capbreton : Apport des données issues des missions PROSECAN et ITSAS. Conference : 11e Congrès français de sédimentologie. Caen (France).

Bliard, F., Dalleau, C., Quemmerais-Amice, F., Gimard, A., Alloncle. N., Campillos-Llanos, M., Cervera-Núñez, C., Gómez-Ballesteros, M., Grassa, J., Lloret, A., Murciano, C., & Punzón, A. (2019). SIMNORAT – Bay of Biscay case study – Mapping exposure risk of marine megafauna to concomitant pressures (D16). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2598150

Blott, S. J. & Pye, K. (2001) Gradistat: A Grain Size Distribution and Statistics Package for the Analysis of Unconsolidated Sediments. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1237-1248. http://dx.doi.org/10.1002/esp.261

BlueMed Initiative (2018). Strategic Research and Innovation Agenda (SRIA). http://www.bluemed-initiative.eu/wp-content/uploads/2018/12/BLUEMED-SRIA_Update_2018.pdf

BlueMed Initiative (2020). BlueMed Preliminary Implementation Plan. Core Document. http://www.bluemed-initiative.eu/wp-content/uploads/2020/07/bluemed-preliminary-implementation-plan_version-complete.pdf

BOE (1994). Instrumento de ratificación del Convenio sobre la Diversidad Biológica, hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992. *Boletín Oficial del Estado*, *27*, de 1 de febrero de 1994. https://www.boe.es/eli/es/ai/1992/06/05/(1)/dof/spa/pdf

BOE (2007). Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. *Boletín Oficial del Estado, 299*, de 14 de diciembre de 2007. https://www.boe.es/eli/es/l/2007/12/13/42/con

BOE (2010). Ley 41/2010, de 29 de diciembre, de Protección del Medio Marino. *Boletín Oficial del Estado*, *317*, de 30 de diciembre de 2010. https://www.boe.es/eli/es/l/2010/12/29/41

BOE (2017). Real Decreto 363/2017, de 8 de abril, por el que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo. *Boletín Oficial del Estado, 86*, de 11 de abril de 2017. https://www.boe.es/eli/es/rd/2017/04/08/363

BOE (2014a). Ley 30/2014, de 3 de diciembre, de Parques Nacionales. *Boletín Oficial del Estado*, 293, de 4 de diciembre de 2014. https://www.boe.es/eli/es/l/2014/12/03/30

BOE (2014b). Orden AAA/2280/2014, de 1 de diciembre, por la que se aprueba la propuesta de inclusión en la lista de lugares de importancia comunitaria de la Red Natura 2000 de los espacios marinos ESZZ12003 Sistema de Cañones Submarinos de Avilés [...]. *Boletín Oficial del Estado, 293*, de 4 de diciembre de 2014. https://www.boe.es/diario_boe/txt.php?id=BOE-A-2014-12628

BOE (2015). Ley 33/2015, de 21 de septiembre, por la que se modifica la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. *Boletín Oficial del Estado, 227*, de 22 de septiembre de 2015. https://www.boe.es/eli/es/l/2015/09/21/33

Boillot, G., & Malod, J. (1988). The North and North-West Spanish continental margin: a review. *Revista de la Sociedad Geológica de España, 1*(3-4), 295-316.

Boillot, G., Dupeuble, P. A., & Malod, J. (1979). Subduction and tectonics on the continental margin off northern Spain. *Marine Geology, 32*(1-2), 53-70. https://doi.org/10.1016/0025-3227(79)90146-4

Boillot, G., Dupeuble, P. A., Hennequin-Marchand, I., Lamboy, M., Lepetre, & J. P. (1972). Carte géologique du plateau continental nordespagnol entre le canyon de Capbreton et canyon d'Aviles. *Bulletin de la Société Géologique de France, S7-XV*(3-4), 367-391. https://doi.org/10.2113/gssgfbull.S7-XV.3-4.367

Boillot, G., Dupeuble, P. A., Lamboy, M., D'Ozouville, L. & Sibuet, J. C. (1971). Structure et historie géologique de la marge continentale au Nord de l'Espagne. In Debysier, J., Le Pichon, X., & Montadert, M. (Eds.), *Histoire structurale du Golfe de Gascogne* (V.6.1-V.6.52). Technip.

Boillot, G., Dupeuble, P.A., Hennequin-Marchand, I., Lamboy, M., Lepretre, J.P. and Musellec, P. (1974). Le rôle des décrochements "tardi-hercyniens" dans l'évolution structurale de la marge continentale et dans la localisation des grands canyons sous-marins à l'ouest et au nord de la péninsule ibérique. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique, XVI*(1), 75-86.

Boillot, G., Girardeau, J. and Kornprobst, J. (1988). Rifting of the Galicia Margin: Crustal Thinning and Emplacement of Mantle Rocks on the Seafloor. *Proceedings of the Ocean Drilling Project Scientific Results*, 103, 741-756. https://doi.org/10.2973/odp.proc.sr.103.179.1988

Borja, Á. (2009). La investigación marina en las nuevas políticas europeas de gestión integrada. In Doménech, J. L. (Ed.), *Gestión integrada de zonas costeras* (407-455). AENOR (Asociación Española de Normalización y Certificación).

Borja, Á., Galparsoro, I., Irigoien, X., Iriondo, A., Menchaca, A., Muxika, I., Pascual, M., Quincoces, I., Revilla, M., Germán Rodríguez, J., Santurtún, M., Solaun, O., Uriarte, A., Valencia, V., & Zorita, I. (2011). Implementation of the European Marine Strategy Framework Directive: A methodological approach for the assessment of environmental status, from the Basque Country (Bay of Biscay). *Marine Pollution Bulletin, 62*, 889-904.

Botas, J. A., Fernández, E., Bode, A., & Anadón, R. (1990). A persistent upwelling off the central Cantabrian coast (Bay of Biscay). *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 30*(2), 185-199. https://doi.org/10.1016/0272-7714(90)90063-W

Bourillet, J. F., Reynaud, J. Y., Baltzer, A., Zaragosi, S. (2003). The "Fleuve Manche": the sub-marine sedimentary features from the outer shelf to the deep-sea fans. *Journal of Quaternary Science, 18*(3-4), 261-282. https://doi.org/10.1002/jqs.757

Brizzolara, J. L., Grasty, S. E., Ilich, A. R., Gray, J. W., Naar D. F., & Murawski, S.A. (2020). Chapter 36 – Characterizing benthic habitats in two Marine Protected Areas on the West Florida Shelf. In Harris, P. T. & Baker E. (Eds.). *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat* (Second Edition, Series volume, 605-618). Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00036-1

Brocheray, S., M. Cremer, S. Zaragosi, S. Schmidt, F. Eynaud, L. Rossignol, & H. Gillet, (2014). 2000 years of frequent turbidite activity in the Capbreton Canyon (Bay of Biscay). *Marine Geology, 347*, 136-152. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2013.11.009

Brown, C. J. & Blondel, P. (2009). The application of underwater acoustics to seabed habitat mapping (Guest editorial). *Applied Acoustics, 70*(10), 1241-1241. https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.09.006

Bryan, T. L., & Metaxas, A. (2007). Predicting suitable habitat for deep-water gorgonian corals on the Atlantic and Pacific Continental Margins of North America. *Marine Ecology Progress Series, 330*, 113-126. http://dx.doi.org/10.3354/meps330113

Buhl-Mortensen, L., Aglen, A., Breen, M., Buhl-Mortensen, P., Ervik, A., Husa, V., Løkkeborg, S., Røttingen, I., & Hagen, H. (2013). Impacts of fisheries and aquaculture on sediments and benthic fauna: suggestions for new management approaches. Fisken Og Havet, 2. Havforskningsinstituttet – Institute of Marine Research. ISSN 0071 - 5638.

Buhl-Mortensen, L., Galparsoro, I., Vega Fernández, T., Johnson, K., D'Anna, G., Badalamenti, F., Garofalo, G., Carlström, J., Piwowarczyk, J., Rabaut, M., & van Hoofet, L. (2017). Maritime ecosystem-based management in practice: Lessons learned from the application of a generic spatial planning framework in Europe. *Marine Policy, 75*, 174-186. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.01.024

Buhl-Mortensen, L., Vanreusel, A., Gooday, A. J., Levin, L. A., Priede, I. G., Buhl-Mortensen, P., Gheerardyn, H., King, N. J., & Raes, M. (2010). Biological structures as a source of habitat heterogeneity and biodiversity on the deep ocean margins. *Marine Ecology, 31*(1), 21-50. https://doi.org/10.1111/j.1439-0485.2010.00359.x

Burbridge, P. (1999). The Guiding Principles for a European ICZM Strategy. Towards a European Strategy for Integrated Coastal Zone Management (ICZM). https://www.academia.edu/26836373/The_Guiding_Principles_for_a_European_ICZM_Strategy

Cadenas, P. (2013). Estructura geológica y modelización tridimensional de la Plataforma Continental Noribérica entre 4° y 5°30´W (Golfo de Vizcaya) [Trabajo Final de Máster, Universidad de Oviedo]. http://hdl.handle.net/10651/17707

Campbell, M. L., & Hewitt, C. L. (2006). A hierarchical framework to aid biodiversity assessment for coastal zone management and marine protected area selection. *Ocean & Coastal Management, 49*(3), 133-146. http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2006.02.010

Canals, M. & Ballesteros, E. (1997). Production of carbonates particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research, Part II: Topical studies in Oceanography, 44*(3-4), 611-629. https://doi.org/10.1016/S0967-0645(96)00095-1

Canals, M., Puig, P., Durrieu de Madron, X., Heussner, S., Palanques, A., & Fabres, J. (2006). Flushing submarine canyons. *Nature, 444*, 354-357. https://doi.org/10.1038/nature05271

Capdevilla, R., Boillot, G., Lepvrier, C., Malod, J. A., and Mascle, G. (1980). Les formations cristallines du Bank Le Danois (marge nord-iberique). *Comptes rendus de l'Académie des Sciences de Paris, 291*, 317-320.

Carneiro, G., Thomas, H., Olsen, S., Benzaken, D., Fletcher, S., Méndez-Roldán, S., & Stanwell-Smith, D. (2017). *Cross-border cooperation in maritime spatial planning – Final report*. European Commission, Executive Agency for Small and Medium-sized Enterprises. Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2826/28939

Carola, E., Tavani, S., Ferrer, O., Granado, P., Quintà, A., Butillé, M., & Muñoz, J. A. (2013). Along-strike extrusion at the transition between thin- and thick-skinned domains in the Pyrenean Orogen (northern Spain). *Geological Society London Special Publications, 377*(1), 119-140. https://doi.org/10.1144/SP377.3

Carval, D., & Jarno, R. (2019). SIMNORAT - Data Management Guidance Document (D12). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2597395

Cash, D. W., Adger, W., Berkes, F., Garden, P., Lebel, L., Olsson, P., Pritchard, L., & Young, O. (2006). Scale and cross-scale dynamics: Governance and information in a multilevel world. *Ecology and Society, 11*(2). https://www.jstor.org/stable/26265993

Clarke, K. R., & Warwick, R. M. (1994). *Change in Marine Communities: an Approach to Statistical Analysis and Interpretation*. Natural Environmental Research Council.

Cirac, P., Bourillet, J. F., Griboulard, R., Normand, A., Mulder, T. & L'équipe Itsas (2001). Le canyon de Capbreton : Nouvelles approches morphostructurales et morphosédimentaires. Premiers résultats de la campagne Itsas. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences - Series IIA - Earth and Planetary Science*, 332(7), 447-455. https://doi.org/10.1016/S1251-8050(01)01557-9

Colas, F. (2003). Circulation et dispersion lagrangiennes en Atlantique nord-est. [Tesis doctoral, Universidad de Bretaña Occidental]. https://www.sudoc.fr/102073759

Coleman, H., Foley, M., Prahler, E., Armsby, A., & Shillinger, G. (2011). *Decision guide: Selecting decision support tools for marine spatial planning* (56 pp.). Board of Trustees of the Leland Stanford Junior University.

Consejería de Medio Rural y Pesca (2011). Caladeros de Asturias, E 1:280.000. Sistemas de Información Geográfica del Litoral y Medio Marino del Principado de Asturias. Gobierno del Principado de Asturias.

Convenio de Barcelona, 2008. Protocol on Integrated Coastal Zone Management in the Mediterranean. Official Journal L 034, 04/02/2009, 19-28. http://data.europa.eu/eli/prot/2009/89/oj

Cordero Penín, V., Pallero Flores, C., García-Sanabria, J., García-Onetti, J., De Andrés García, M., & Arcila Garrido, M. (2019). Lessons learned and good practices:

report and implementation for Macaronesia. Deliverable – D.6.4., under the WP6 of MarSP: Macaronesian Maritime Spatial Planning project (GA No.º EASME/EMFF/2016/1.2.1.6/03SI2.763106). https://marsp.eu/media/files/None/marspwp6d64lessonslearnedbestpractices.pdf

Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Farber, S., Grasso, M., Hannon, b., Limburg, K. E., Naeem, S., O'Neill, R.V., Paruelo, J., Raskin, R.G., Sutton, P., & van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature, 387*(6630), 253-260. https://doi.org/10.1016/S0921-8009(98)00020-2

Cretu, Mirela (2016). Environmental Impact of Aquaculture. A Literature Review. Conference: 27th IBIMA Conference at Milan, Italy 4-5 May ISBN: 978-0-9860419-6-9

Crowder, L. & Norse, E. (2008). Essential ecological insights for marine ecosystem-based management and marine spatial planning. *Marine Policy, 32*(5), 772-778. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.012

Cumming, G. S., Cumming, D. H., & Redman, C. L. (2006). Scale mismatches in social-ecological systems: causes, consequences, and solutions. *Ecology and Society, 11*(1). https://doi.org/10.5751/ES-01569-110114

Cunha, M. R., Paterson, G., Amaro, T., Blackbird, S., de Stigter, H., Ferreira, C., Glover, A., Hilário, A., Kiriakoulakis, K., Neal, L., Ravara, A., Rodrigues, C. F., Tiago, A., & Billett, D. (2011). Biodiversity of macrofaunal assemblages from three Portuguese submarine canyons (NE Atlantic). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography,58*(23-24), 2433-2447. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2011.04.007

Dauvin, J. C., Alizier, S., Rolet, C., Bakalem, A., Bellan, G., Gómez Gesteira, J. L., Grimes, S, de la Ossa Carretero, J. A., & del Pilar-Ruso, Y. (2012). Response of different benthic indices to diverse human pressures. *Ecological Indicators, 12*(1)143-153. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2011.03.019

Davies, A. J., Duineveld, G., Lavaleye, M. S. S., Bergman, M., van Haren, H., & Roberts, J. M. (2009). Downwelling and deep-water bottom currents as food supply mechanisms to the cold-water coral Lophelia pertusa (Scleractinia) at the Mingulay Reef complex. *Limnology and Oceanography, 54*(2), 620-629. https://doi.org/10.4319/lo.2009.54.2.0620

Davies, A. J., Wisshak, M., Orr, J. C., & Roberts, M. (2008). Predicting suitable habitat for the cold-water coral *Lophelia pertusa* (Scleractinia). *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 55*(8), 1048-1062. https://doi.org/10.1016/j.dsr.2008.04.010

Davies, C. E. , Moss, D., Hill, M. O. (2004). EUNIS habitat classification revised 2004. Report to the European Environment Agency—European Topic Centre on Nature Protection and Biodiversity, October 2004. http://www.emodnet-seabedhabitats.eu/PDF/GMHM4_EUNIS_2004_report.pdf

de la Torriente, A. (2020a). Identification, distribution, taxonomic and functional composition of the benthic habitats covering the Seco de los Olivos Seamount and its application to management and conservation. [Tesis doctoral, Universidad de Cádiz].

de la Torriente, A., Aguilar, R., González-Irusta, J. M., Blanco, M., Serrano, A. (2020b) Habitat forming species explain taxonomic and functional diversities in a Mediterranean seamount. *Ecological Indicators, 118*, 106747. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.106747

de la Torriente, A., González-Irusta, J., Aguilar, R., Fernández Salas, L., Punzón, A., & Serrano, A. (2019). Benthic habitat modelling and mapping as a conservation tool for marine protected areas: A seamount in the western Mediterranean. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems, 29*(5), 732-750. https://doi.org/10.1002/aqc.3075

de Leo, F. C., Smith, C. R., Rowden, A. A., Bowden, D. A., & Clark, M. R. (2010). Submarine canyons: hotspots of benthic biomass and productivity in the deep sea. *Proceedings of the Royal Society, 277*(1695). http://doi.org/10.1098/rspb.2010.0462

de Mol, L., van Rooij, D., Pirlet, H., Greinert, J., Frank, N., Quemmerais, F., & Henriett, J. P. (2011). Coldwater coral habitats in the Penmarch and Guilvinec Canyons (Bay of Biscay): deepwater versus shallow-water settings. *Marine Geology, 282*(1-2), 40-52. http://doi.org/10.1016/j.margeo.2010.04.011

Defense Mapping Agency, 1981. *Gazetter of Undersea Features*, Third edition.

Dérégnaucourt D. & Boillot G. (1982). Structure géologique du golfe de Gascogne. *Bulletin du Bureau de Recherches Géologiques et Minières, 2*(3), 149-178.

Di Pane, J., Koubbi, P., Giraldo, C., Lefebvre, V., Caboche, J., Marchal, P, & Loots, C. (2020). Recent changes in ichthyoplanktonic assemblages of the eastern English Channel, *Journal of Sea Research, 157*. https://doi.org/10.1016/j.seares.2020.101848

Díaz del Río, G. (2008). Patrones hidrológicos y variabilidad temporal de la circulación oceánica en la región plataforma/talud del golfo Ártabro, noroeste de Galicia [Tesis Doctoral, Universidad de Vigo]. Instituto Español de Oceanografía. http://hdl.handle.net/10261/316348

Díaz del Río, G., González, N., & Marcote, D. (1998). The intermediate Mediterranean water inflow along the northern slope of the Iberian Peninsula. *Oceanologica Acta, 21*(2), 157-163.

Dickinson, C. I. (1963). *British Seaweeds – The Kew Series*. Eyre & Spottiswoode.

Dickson, R. R., Gould, W. J., Muller, T. J., & Maillard, C. (1985). Estimates of the mean circulation in the deep (>2,000 m) layer of the Eastern North-Atlantic. *Progress in Oceanography, 14,* 103-127. https://doi.org/10.1016/0079-6611(85)90008-4

Dilasser, J., Ganne, M., Sala, P., Cervera-Nuñez, C., Sousa, L. P., Quintela, A., Marques, M., Silva, A., Alves, F. L., Campillos-Llanos, M., Gómez- Ballesteros, M., & Alloncle, N. (2019). SIMNORAT - Most appropriate geographical scale for MSP at national scale (D7). https://doi.org/10.5281/zenodo.2594737

Domínguez-Tejo, E., Metternicht, G., Johnston, E., & Hedge, L. (2016). Marine Spatial Planning advancing the Ecosystem-Based Approach to coastal zone management: A review. *Marine Policy, 72*, 115-130. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.06.023

Douvere, F. (2008). The importance of marine spatial planning in advancing ecosystem-based sea use management, *Marine Policy, 32*(5), 762-771. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.021

Druet, M., Bohoyo, F., Maestro, A., Mink, S., García-Senz, J., Pedrera, A., Rodríguez Fernández, R. (2023). Tectonics of the Iberian continental margins and abyssal plains. *Journal of Maps, 19*(1). https://doi.org/10.1080/17445647.2023.2237980

Duarte, C. M., Agusti, S., Barbier, E., Britten, G. L., Castilla, J. C., Gattuso, J., Fulweiler, R. W., Hughes, T. P., Knowlton, N., Lovelock, C. E., Lotze, H. K., Predragovic, M.,

Poloczanska, E., Roberts, C., & Worm, B. (2020). Rebuilding marine life. *Nature, 580*(7801), 39-51. https://doi.org/10.1038/s41586-020-2146-7

Dullo, W. C., Flögel, S., Rüggeberg, A. (2008). Cold-water coral growth in relation to the hydrography of the Celtic and Nordic European continental margin. *Marine Ecology Progress Series, 371*, 165-176. https://doi.org/10.3354/meps07623

Dunstan, P. K., Bax, N. J., Dambacher, J. M., Hayes, K. R., Hedge, P. T., Smith, D. C., & Smith, A. D. M. (2016) Using ecologically or biologically significant marine areas (EBSAs) to implement marine spatial planning. *Ocean & Coastal Management, 121*, 116-127. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.11.021

Dupré, S., Berger, L., Le Bouffant, N., Scalabrin, C., &Bourillet, J. F. (2014). Fluid emissions at the Aquitaine Shelf (Bay of Biscay, France): A biogenic origin or the expression of hydrocarbon leakage? *Continental Shelf Research, 88*, 24-33. https://doi.org/10.1016/j.csr.2014.07.004

Ehler, C. & Douvere, F. (2009) *Marine Spatial Planning, a Step-by-Step Approach toward Ecosystem-Based Management*. IOC Manuals and Guides, Unesco. http://hdl.handle.net/1834/4475

Ercilla, G., Alonso, B., & Baraza, J. (1994a). Post-Calabrian sequence stratigraphy of the northwestern Alboran Sea. *Marine Geology, 120*(3-4), 249-265. https://doi.org/10.1016/0025-3227(94)90061-2

Ercilla, G., Casas, D., Estrada, F., Vázquez, J. T., Iglesias, J., García, M., Gómez, M., Acosta, J., Gallart, J., Maestro-González, A., & Marconi Team (2008). Morphosedimentary features and recent depositional architectural model of the Cantabrian continental margin. *Marine Geology, 247*(1-2), 61-83. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.08.007

Ercilla, G., Farrán, M., Alonso, B., & Díaz, J. I. (1994b). Pleistocene progradational growth pattern of the northern Catalonia continental shelf (northwestern Mediterranean). *Geo Marine Letters, 14*, 264-271. https://doi.org/10.1007/BF01274062

European Commission (2007). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones – Una política marítima integrada para la Unión Europea. COM(2007) 575 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/?uri=CELEX%3A52007DC0575

European Commission (2008a). Communication from the Commission – Roadmap for Maritime Spatial Planning: Achieving Common Principles in the EU. COM/2008/0791 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=celex%3A52008DC0791

European Commission (2008b). Comunicación de la Comisión al Parlamento Europeo, al Consejo, al Comité Económico y Social Europeo y al Comité de las Regiones - Orientaciones para un planteamiento integrado de la política marítima: hacia mejores prácticas de gobernanza marítima integrada y consulta de las partes interesadas. COM (2008) 395 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/es/HIS/?uri=CELEX:52008DC0395

European Commission (2013a). Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. Action Plan for a Maritime Strategy in the Atlantic area Delivering smart, sustainable and inclusive growth. COM/2013/0279 final. https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX:52013DC0279

European Commission, DG-ENV (2013b). Interpretation Manual of European Union Habitats, version EUR 28. European Commision DG Environment. 144 pp. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/espacios-protegidos/doc_manual_intp_habitat_ue_tcm30-207191.pdf

European Commission, Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, Joint Research Centre, (2020). *The EU blue economy report 2020.* Publications Office of the European Union. https://data.europa.eu/doi/10.2771/363293

European Commission, European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (2021a). *Sustainability criteria for the blue economy – Main report*. Publications Office of the European Union https://data.europa.eu/doi/10.2826/399476

European Commission, Directorate-General for Maritime Affairs and Fisheries, Joint Research Centre, (2021b) *The EU blue economy report 2021 – Annexes*. Publications Office of the European Union, 2021. https://data.europa.eu/doi/10.2771/766340

European Commission, European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency, Ruskule, A., Oulès, L., Zamparutti, T. et al. (2021c). *Guidelines*

for implementing an ecosystem-based approach in maritime spatial planning – Including a method for the evaluation, monitoring and review of EBA in MSP. Publications Office. https://data.europa.eu/doi/10.2926/84261

European Marine Observation and Data Network (EMODnet). https://emodnet.ec.europa.eu/en

European Union (1992). Directiva 92/43/CEE del Consejo, de 21 de mayo de 1992, relativa a la conservación de los hábitats naturales y de la fauna y flora silvestres. [Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora]. *Diario Oficial de las Comunidades Europeas, 206*, de 22 de julio de 1992. http://data.europa.eu/eli/dir/1992/43/oj

European Union (2000) Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. http://data.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj

European Union (2002). Recommendation of the European Parliament and of the Council of 30 May 2002 concerning the implementation of Integrated Coastal Zone Management in Europe (ICZM). http://data.europa.eu/eli/reco/2002/413/oj

European Union (2007) Directive 2007/2/EC of the European Parliament and of the Council of 14 March 2007 establishing an Infrastructure for Spatial Information in the European Community (INSPIRE). http://data.europa.eu/eli/dir/2007/2/oj

European Union (2008). Directiva 2008/56/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 17 de junio de 2008, por la que se establece un marco de acción comunitaria para la política del medio marino (Directiva marco sobre la estrategia marina). [Directive 2008/56/EC of the European Parliament and of the Council of 17 June 2008 establishing a framework for community action in the field of ma-rine environmental policy (Marine Strategy Framework Directive)]. *Diario Oficial de la Unión Europea*, *164*, de 25 de junio de 2008. http://data.europa.eu/eli/dir/2008/56/oj

European Union (2009). Directiva 2009/147/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de noviembre de 2009, relativa a la conservación de las aves silvestres. [Directive 2009/147/EC of the European Parliament and of the Council of 30 November 2009 on the conservation of wild birds]. *Diario Oficial*

de la Unión Europea, *20*, de 26 de enero de 2010. http://data.europa.eu/eli/dir/2009/147/oj

European Union (2014). Directiva 2014/89/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de julio de 2014, por la que se establece un marco para la ordenación del espacio marítimo. [Directive 89/EU of the European Parliament and of the Council of 23 July 2014 establishing a framework for maritime spatial planning]. *Diario Oficial de la Unión Europea*, 257, de 28 de agosto de 2014. http://data.europa.eu/eli/dir/2014/89/oj

Evans, D., Condé, S., Royo, Gelabert, E. (2014). *Crosswalks between European marine habitat typologies – A contribution to the MAES marine pilot*. ETC/BD Report for the EEA.

Fanjul, E. A., Gómez, B. P., & Sánchez-Arevalo, I. R. (1997). A description of the tides in the Eastern North Atlantic. *Progress in Oceanography, 40*(1-4), 217-244. https://doi.org/10.1016/S0079-6611(98)00003-2

Faugères, J. C., Imbert, P., Mézerais, M. L., & Crémer, M. (1998). Seismic patterns of a muddy contourite fan (Vema Channel, South Brazilian Basin) and a sandy distal turbidite deep-sea fan (Cap Ferret system, Bay of Biscay): a comparison. *Sedimentary Geology, 115*(1-4), 81-110. https://doi.org/10.1016/S0037-0738(97)00088-2

Fernandes, M. L., Sousa, L. P., Quintela, A., Marques, M., Reis, J., Simão, Castro, A. T., Marques, J. M., & Alves, F. L. (2020). Mapping the future: Pressures and impacts in the Portuguese maritime spatial planning. *Science of The Total Environment, 715*. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136863

Fernández-Arcaya, U., Ramírez-Llodra, E., Aguzzi, J., Allcock, A., Davies, J., Dissanayake, A., Harris, P., Howell, K., Huvenne, V., Macmillan-Lawler, M., Martín, J., Menot, L., Nizinski, M., Puig, P., Rowden, A., Sanchez, F., & van den Beld, I. (2017). Ecological Role of Submarine Canyons and Need for Canyon Conservation: A Review. *Frontiers in Marine Science, 4*(5). https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00005

Ferrer, L., Fontán, A., Mader, J., Chust, G., González, M., Valencia, V., Uriarte, A., & Collins, M. B. (2009). Low-salinity plumes in the oceanic region of the Basque Country. *Continental Shelf Research, 29*(8), 970-984. https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.12.014

Finkl, C. W., Becerra, J. E., Achatz, V., & Andrews, L. (2008). Geomorphological Mapping along the Upper Southeast Florida Atlantic Continental Platform; I: Mapping Units, Symbolization and Geographic Information System Presentation of Interpreted Seafloor Topography. *Journal of Coastal Research, 24*(6), 1388-1417. http://dx.doi.org/10.2112/08A-0007.1

Flannery, W., & Cinneide, M. (2012). A roadmap for marine spatial planning: A critical examination of the European Commission's guiding principles based on their application in the Clyde MSP Pilot Project. *Marine Policy, 36*(1), 265-271. http://dx.doi.org/10.1016/j.marpol.2011.06.003

Fleischer, P., Orsi, T., Richardson, M., & Anderson, A. (2001). Distribution of free gas in marine sediments: a global overview. *Geo-Marine Letters, 21*, 103-122. https://doi.org/10.1007/s003670100072

Fraschetti, S., Terlizzi, A., & Boero, F. (2008). How many habitats are there in the sea (and where)? *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 366*(1-2), 109-115. https://doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.015

Foley, M. M., Halpern, B. S., Micheli, F., Armsby, M. H., Caldwell, M. R., Crain, C. M., Prahler, E., Rohr, N., Sivas, D., Beck, M. W., Carr, M. H., Crowder, L. B., Duffy, J. M., Hacker, S. D., McLeod, K. L., Palumbi, S. R., Peterson, C. H., Regan, H. M., Ruckelshaus, M. H., Sandifer, P. A., & Steneck, R. S. (2010). Guiding ecological principles for marine spatial planning. *Marine Policy, 34*(5), 955-966. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.02.001

Folk, R. L. (1974). *Petrology of Sedimentary Rocks* (170 pp). Hemphill Publishing Co.

Fonseca, L., Brown, C., Calder, B. R., Mayer, L. A., & Rzhanov, Y. (2009). Angular range analysis of acoustic themes from Stanton Banks Ireland: A link between visual interpretation and multibeam echosounder angular signatures. *Applied Acoustics, 70*(10), 1298-1304. http://dx.doi.org/10.1016/j.apacoust.2008.09.008

Foote K. G., Patel, R., & Tenningen, E. (2010). Target-tracking in a parametric sonar beam, with applications to calibration. OCEANS 2010 MTS/IEEE Seattle, WA, USA, pp. 1-7. https://doi.org/10.1109/OCEANS.2010.5664357

Forgy, E. W. (1965). Cluster analysis of multivariate data: efficiency versus interpretability of classifications. *Biometrics, 21*, 768-769.

Fraga, F., Mourinho, C., & Manríquez, M. (1982). Las masas de agua en la costa de Galicia: junio-octubre [Water bodies off the Galician coast. June-October]. *Resultados Expediciones Científicas, 10*, 51-77. CSIC.

Frederiksen, R., Jensen, A., & Westerberg, H. (1992). The distribution of the scleractinian coral *Lophelia pertusa* around the Faeroe Islands and the relation to internal tidal mixing. *Sarsia, 77*(2), 157-171. https://doi.org/10.1080/00364827.1992.10413502

Freiwald, A., & Roberts, J. M. (Eds.) (2005). Cold-water corals and ecosystems. Springer Verlag, Berlin-Heidelberg. *Geological Magazine, 143*(06). https://doi.org/10.1017/S0016756806312976

Freiwald, A., Fosså, J. H., Grehan, A., Koslow, T., & Roberts, J. M. (2004). Cold-water Coral Reefs. UNEP-WCMC, Cambridge.

Gallastegui, J. (2000). Estructura cortical de la cordillera y margen continental cantábricos: perfiles ESCI-N. *Trabajos de Geología*, *22*, 9-231.

Gallastegui, J., Pulgar, J. A., & Gallart Muset, J. (2002). Initiation of an active margin at the North Iberian continent-ocean transition. *Tectonics, 21*(4), 15-1-15-14. https://doi.org/10.1029/2001TC901046

Galparsoro Iza, Ibon (2011). Estudio morfológico y bentónico, de la plataforma continental vasca mediante sensores remotos y la modelización de hábitats: establecimiento de las bases para la Planificación Espacial Marina. [Tesis doctoral, Universidad de Vigo]. http://hdl.handle.net/11093/328

Galparsoro, I., & Sagarminaga, Y. (2010). *Desarrollo de un sistema de información geográfica marino (ItsasGIS)*. Elaborado por AZTI-Tecnalia para Eusko Jaurlaritza - Gobierno Vasco, Dpto. de Medio Ambiente, Planificación Territorial, Agricultura y Pesca, Viceconsejería de Desarrollo Agrario y Pesquero. 39 pp.

Galparsoro, I., Borja, Á., & Uyarra, M. C. (2014). Mapping ecosystem services provided by benthic habitats in the European North Atlantic Ocean. *Frontiers in Marine Science, 1,* 23. https://doi.org/10.3389/fmars.2014.00023

Galparsoro, I., Borja, Á., Bald, J., Liria, P., & Chust, G. (2009). Predicting suitable habitat for the European lobster (*Homarus gammarus*), on the Basque continental shelf (Bay of Biscay), using Ecological-Niche Factor Analysis, *Ecolog-*

ical Modelling, 220(4), 556-567. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2008.11.003

Galparsoro, I., Borja, Á., Legorburu, I., Hernández, C., Chust, G., Liria, P., & Uriarte, A. (2010). Morphological characteristics of the Basque continental shelf (Bay of Biscay, northern Spain); their implications for integrated coastal zone management. *Geomorphology, 118,* 314-329. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.01.012

Galparsoro, I., Borja, Á., Rodríguez, J. G., Muxika, I., Pascual, M., & Legorburu, I. (2012). 35 - Rocky reef and sedimentary habitats within the continental shelf of the southeastern Bay of Biscay. In Harris, P. T., Baker, K. (Eds.), *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat* (pp. 493-507). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385140-6.00035-9

Galparsoro, I., Muxika, I., Garmendia, J. M., Rodríguez, J. G. (2020). Chapter 46 – Continental shelf, canyons and pockmark fields in the southeastern Bay of Biscay. In Harris, P. T., & Baker, E. (Eds.*), Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat* (Second Edition, pp. 769-781). Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00046-4

Galparsoro, I., Pouso, S., Iriondo, A., Granado, I., Mugerza, E., Mandiola, G., Punzón, A., Borja, A., Castro, R., Ballesteros, M., & Sánchez, F. (2021). Evaluación de la actividad y huella pesquera en el entorno del cañón de Capbreton. LIFE IP INTEMARES. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.19743.64165

Galparsoro, I., Rodríguez, J. G., Menchaca, I., Quincoces, I., Garmendia, J. M., & Borja, A. (2015). Benthic habitat mapping on the Basque continental shelf (SE Bay of Biscay) and its application to the European Marine Strategy Framework Directive. *Journal of Sea Research, 100*, 70-76. https://doi.org/10.1016/j.seares.2014.09.013

García-Alegre, A., Sánchez, F., Gómez-Ballesteros, M., Hinz, H., Serrano, A., & Parra, S. (2014). Modelling and mapping the local distribution of representative species on the Le Danois Bank, El Cachucho Marine Protected Area (Cantabrian Sea). *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography*, *106*, 151-164. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.12.012

Gardner, J. V., Field, M. E., Lee, H., Edwards, B. E., Masson, D. G., Kenyon, N., & Kidd, R. B. (1991). Ground-truthing 6.5-kHz side scan sonographs: What are we really

imaging? *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 96*(B4), 5955-5974. https://doi.org/10.1029/90JB02730

Gaudin, M. (2006). Processus et enregistrements sédimentaires dans les canyons sous-marins Bourcart et de Capbreton durant le dernier cycle climatique. [Tesis doctoral, Universidad de Burdeos 1]. https://archimer.ifremer.fr/doc/00000/2511/

Gaudin, M., Mulder, T., Cirac, P., Berné, S., & Imbert, P. (2006). Past and present sedimentary activity in the Capbreton Canyon, southern Bay of Biscay. *Geo-Marine Letters, 26,* 331-345. https://doi.org/10.1007/s00367-006-0043-1

Gillet, H., Cirac, P., & Lagié, B. (2008). Pockmarks on the southern margin of the Capbreton Canyon (south-eastern Bay of Biscay). XI International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay.

Gilliland, P. M. & Laffoley, D. (2008). Key elements and steps in the process of developing ecosystem-based marine spatial planning, *Marine Policy, 32*(5), 787-796. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.022

Gimard, A., Quemmerais, F., Alloncle, N., Bliard, F., Farella, G., Sarretta, A., Barbanti, A., Menegon, S., Bassan, N., Gissi, E., Manea, E., Musco, F., Murciano, C., Lloret, A., Cervera-Núñez, C., Campillos-Llanos, M., Gómez-Ballesteros, M., Carval, D., Loyer, S., … & Moirano, C. (2019). SIMWESTMED – Interactions between uses, between uses and environment, including cumulative impacts. Review of evaluation methods carried out in France, Spain and Italy - Western Mediterranean Sea (R18). Zenodo. https://zenodo.org/doi/10.5281/zenodo.2592357

Giret, O., Morel, C., Gimard, A., Alloncle, N., Le Moing, E., Quentric, A., Quintela, A., Lloret, A., Lopes Alves, F., Gómez Ballesteros, M., Buceta, J. L., Marques, M., Plaza, M., Silva, A., & Sousa, L. (2019). SIMNORAT – Initial Assessment (D1). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2609165

Gómez-Ballesteros, M., Arrese, B., Díez, I. P., Galparsoro, I., Sánchez-Guillamón, O., Martínez-Carreño, N., Sayago, M., López-Rodríguez, C., Rodríguez, A., Sánchez, F. (2022). Morphosedimentary characterization of the Capbreton submarine canyon system, Bay of Biscay (Cantabrian Sea), *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 274.* https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107955

Gómez-Ballesteros, M., Arrese, B., Díez-García, I. P., Martínez-Carreño, N., Galparsoro, I., García, G., Sánchez-Guillamón, O., Sayago M., & Rodríguez, C. F. (2023). *Informe sobre la distribución espacial de las características geomorfológicas y sedimentarias del sistema de cañones submarinos de Capbreton (Demarcación Noratlántica)*. Proyecto LIFE IP INTEMARES. Fundación Biodiversidad (Coord.). 82 pp.

Gómez-Ballesteros, M., Arrese, B., Sánchez, F., Galparsoro, I., Díez, I. P., Ríos, P., Garmendia, J. M., Rodríguez, A., Rodríguez, J. G., Rodríguez-Cabello, C., Muxika, I., Prado, E., & Cristobo, J. (2021a). *Informe de la campaña INTEMARES A2.2 C. CAP BRETÓN 0620*. https://intemares.es/sites/default/files/cap_breton_2020.pdf

Gómez-Ballesteros, M., Arrese, B., Sánchez, F., Galparsoro, I., Ríos, P., Garmendia, J. M., Rodríguez-Basalo, A., Rodríguez, J. G., Rodríguez-Cabello, C., Muxika, I., Prado, E., & Cristobo, J. (2020). *Informe de la campaña INTEMARES A2.2 C. CAP BRETÓN 0619*. https://intemares.es/sites/default/files/cap_breton_2019.pdf

Gómez-Ballesteros, M., Cervera-Núñez, C., Campillos-Llanos, M., Arrieta Algarra, S., Lloret, A., & Murciano, C. (2021b). Los casos piloto de ordenación del espacio marítimo transfronterizos y su implicación en el proceso nacional en España. *Costas, Vol. Esp., 2,* 191-224. https://doi.org/10.26359/costas.e1021

Gómez-Ballesteros, M., Cervera-Núñez, C., Campillos-Llanos, M., Quintela, A., Sousa, L., Marques, M., Alves, F. L., Murciano, C., Alloncle, N., Sala, P., Lloret, A., Simão, A. P., Costa, A. C., Carval, D., Bailly, D., Nys, C., Sybill, H., & Dilasser, J. (2021c) Transboundary cooperation and mechanisms for Maritime Spatial Planning implementation. SIMNORAT project, *Marine Policy, 127.* https://doi.org/10.1016/j.marpol.2021.104434

Gómez-Ballesteros, M., Druet, M., Acosta, J., Sánchez F. & Muñoz, A. (2012). Morphosedimentary characterization from multibeam bathymetric research of the complex Avilés canyon's system (Cantabrian continental margin). XIII International Symposium on Oceanography of the Bay of Biscay, ISOBAY13 (Santander, abril 2012).

Gómez-Ballesteros, M., Druet, M., Muñoz, A., Arrese, B., Rivera, J., Sánchez, F., Cristobo, J., Parra, S., García-Alegre, A., González-Pola, C., Gallastegui, J., & Acosta, J. (2014). Geomorphology of the Avilés Canyon System, Cantabrian Sea (Bay of Biscay), *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 106*, 99-117. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.09.031

Gómez-Ballesteros, M., Sánchez, F., Serrano, A., Cartes, J. E., Parra, S., Preciado, I., Frutos, I., & Acosta, J. (2009). Deep-Sea Habitats Studies at El Cachucho Bank combining High-Resolution backscatter and Multibeam bathymetry: ECOMARG PROJECT. 6.º Simposio sobre el Margen Ibérico Atlántico MIA09.

Gong, Z., Langereis, C. G., & Mullender, T. A. T. (2008). The rotation of Iberia during the Aptian and the opening of the Bay of Biscay, *Earth and Planetary Science Letters, 273*(1-2), 80-93. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2008.06.016

Gonthier, E., Cirac, P., Faugères, J. C., Gaudin, M., Cremer, M., & Bourillet, F. F. (2006). Instabilities and deformation in the sedimentary cover on the upper slope of the southern Aquitaine continental margin, north of the Capbreton canyon (Bay of Biscay). *Scientia Marina, 70*(S1), 89-100. https://doi.org/10.3989/scimar.2006.70s189

González, M., Uriarte, A., Fontán, A., Mader, J., & Gyssels, P. (2004). Chapter 6 – Marine Dynamics. *Elsevier Oceanography Series, 70*, 133-157. https://doi.org/10.1016/S0422-9894(04)80044-8

González-Pola, C., Fernández-Diaz, J. M. , & Lavín A. (2007). Vertical structure of the upper ocean from profiles fitted to physically-consistent functional forms, *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 54*(11), 1985-2004 https://doi.org/10.1016/j.dsr.2007.08.007

González-Pola, C., Larsen, K. M. H., Fratantoni, P., & Beszczynska-Möller, A. (Eds.). (2022). *ICES Report on ocean climate 2020*. ICES Cooperative Research Reports, Vol. 356. 121 pp. https://doi.org/10.17895/ices.pub.19248602

González-Pola, C., Lavín, A., Díaz del Río, G., Cabanas J. M., Ruiz-Villarreal M., Somavilla, R., Rodríguez, C.. González-Nuevo G., & Nogueira, E. (2012) Hidrografía y circulación. En Bode, A., Lavín, A., & Valdés, L. (Eds.), *Cambio climático y oceanografía en el Atlántico del norte de España* (Cap. 2, pp. 69-98). Instituto Español de Oceanografía.

González-Quirós, R. (2021, 8 junio). Ciencia y alianzas ante el reto de salvar los océanos. *El Ágora. Diario del Agua*. https://www.elagoradiario.com/tribunas/ciencia-alianzas-reto-salvar-oceanos/

González-Quirós, R., Cabal, J., Álvarez-Marqués, F., & Isla, A. (2003). Ichthyoplankton distribution and plankton production related to the shelf break front at the

Avilés Canyon. *ICES Journal of Marine Science*, *60*(2). https://doi.org/10.1016/S1054-3139(03)00009-2

Grasty, S. E. (2014). *Use of a Towed Camera System for Estimating Reef Fish Population Densities on the West Florida Shelf*. USF Tampa Graduate Theses and Dissertations. [Tesis de maestría, Universidad de South Florida]. https://digitalcommons.usf.edu/etd/5370

Greene, H. G., Bizzarro, J. J., O'Connell, V. M., & Brylinsky, C. K. (2007). Construction of digital potential benthic habitat maps using a coded classification scheme and its application. In Todd, B. J., & Greene, H. G. (Eds.), *Mapping the Seafloor for Habitat Characterisation* (pp. 141-156). Geological Association of Canada Special Paper 47.

Gubbay, S. (2004). *Marine Protected Areas in the context of Marine Spatial Planning – Discussing the links*. Papers and reports. WWF-UK. http://assets.wwf.org.uk/downloads/mpas_marinespacialplanning.pdf

Gutiérrez-Claverol, M., & Gallastegui, J. (2002). Prospección de hidrocarburos en la plataforma continental de Asturias. *Trabajos de Geología, 23*, 21-34.

Harris, P. T. (2012). 4 – Biogeography, Benthic Ecology, and Habitat Classification Schemes. In Harris, P. T., & Baker, E. K. *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat* (pp. 61-91). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385140-6.00004-9

Harris, P. T. (2014). Shelf and deep-sea sedimentary environments and physical benthic disturbance regimes: A review and synthesis. *Marine Geology, 353*, 169-184. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.023

Harris, P. T. (2020). Chapter 5 – Surrogacy. In Harris, P. T., & Baker, E. K., *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat* (pp. 97-113). Elsevier. http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00005-1

Harris, P. T., & Baker, E. K. (2012). 1 – Why Map Benthic Habitats? In Harris, P. & Baker, E. (Eds.), *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat* (pp. 3-22). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-385140-6.00001-3

Harris, P. T. & Baker, E. K. (Eds.) (2019). *Seafloor Geomorphology As Benthic Habitat: Geohab Atlas of Seafloor Geomorphic Features and Benthic Habitats* (2nd edition). Elsevier Science. ISBN: 9780128149607.

Harris, P. T., & Whiteway, T. (2011). Global distribution of large submarine canyons: Geomorphic differences between active and passive continental margins. *Marine Geology, 285*(1-4), 69-86. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.05.008

Harris, P. T., Heap, A. D., Whiteway, T. & Post, A. (2008). Application of biophysical information to support Australia's representative marine protected area program. *Ocean & Coastal Management, 51*(10), 701-711. http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.07.007

Harris, P. T., Macmillan-Lawler, M., Rupp, J., & Baker, E. K. (2014). Geomorphology of the oceans. *Marine Geology, 352*, 4-24. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.01.011

Harvey, J. (1982). θ-S relationships and water masses in the eastern North Atlantic. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers, 29*(8), 1021-1033. https://doi.org/10.1016/0198-0149(82)90025-5

Hein, L., van Koppen, K., de Groot, R. S., & van Ierland, E. C. (2006). Spatial scales, stakeholders and the valuation of ecosystem services. *Ecological Economics, 57*(2), 209-228. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2005.04.005

Henry, S., Likhacheva, K., Matyas, D., & Nys, C. (2019). SIMNORAT – Potential approaches for stakeholder engagement on Marine Spatial Planning and outcomes of pilot testing (D14). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2597520

Hernández-Molina, F. J., Llave, E., Ercilla, G., Maestro, A., Medialdea, T., Ferrin, A., Somoza, L., Gràcia, E., Masson, D. G., García, M., Vizcaino, A., & León, R. (2008). Recent sedimentary processes in the *Prestige* site area (Galicia Bank, NW Iberian Margin) evidenced by high-resolution marine geophysical methods. *Marine Geology, 249*(1-2), 21-45. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2007.09.011

Hernández-Molina, F. J., Nombela, M. A., van Rooij, D., Rosón, G., Ercilla, G., Urgorri, V., Llave, E., Francés, G., de Mol, L., Estrada, F., León, R., Mena, A., Pérez Arlucea, M., Alejo, I., Jané, G., & Vanreusel, A. (2009). The Ortegal Spur Contourite Depositional System (Bay of Biscay): the implications of the Mediterranean Outflow Waters in the sedimentary processes and cold-water coral ecosystems. In Ext. Abstr. Vol. 6th Symp. Atlantic Iberian Margin (MIA 09), *Nuevas Contribuciones al Margen Ibérico Atlántico, 1-5*, pp. 281-284. Universidad de Oviedo.

Hernández-Molina, F. J., Serra, N., Stow, D. A. V., Llave, E., Ercilla, G., & van Rooij, D. (2011). Along-slope oceanographic processes and sedimentary products around the Iberian margin. *Geo-Marine Letters*, 31(5-6), 315-341. https://doi.org/10.1007/s00367-011-0242-2

Hernández-Molina, F. J., Somoza, L., Vázquez, J. T., Lobo, F. J., Fernández-Puga, M. C., Llave, E., & Díaz del Río, V. (2002). Quaternary stratigraphic stacking patterns on the continental shelves of the southern Iberian Peninsula: their relationship with global climate and palaeoceanographic changes. *Quaternary International, 92*(1), 5-23. https://doi.org/10.1016/S1040-6182(01)00111-2

Hovland, M. (2003). Geomorphological, geophysical, and geochemical evidence of fluid flow through the seabed. *Journal of Geochemical Exploration, 78*, 287-291. http://dx.doi.org/10.1016/S0375-6742(03)00091-8

Hovland, M. (2008). *Deep-water Coral Reefs*. Unique biodiversity hot-spots. Springer. http://dx.doi.org/10.1007/978-1-4020-8460-7

Hovland, M., & Judd, A. G. (1988). *Seabed Pockmarks and Seepages. Impact on Geology, Biology and Marine Environment* (293 pp.). Graham and Trotman. http://dx.doi.org/10.1017/S001675680001428X

Hughes Clarke, J. E. (2018). Multibeam Echosounders. In Micallef, A., Krastel, S., & Savini, A. (Eds.) *Submarine Geomorphology*. Springer Geology. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57852-1_3

IEO (2013). *Caracterización ecológica del área marina del sistema de cañones submarinos de Avilés. Informe final área LIFE+ INDEMARES (LIFE07/NAT/E/000732)*. Instituto Español de Oceanografía. Fundación Biodiversidad (Coord.). 239 pp.

IEO (2014). *Caracterización ecológica del área marina del sistema de cañones submarinos de Avilés. Informe final área LIFE+ INDEMARES (LIFE07/NAT/E/000732).* Instituto Español de Oceanografía. Fundación Biodiversidad (Coord.). 243 pp.

Iglesias, J. (2009). *Sedimentation on the Cantabrian Continental Margin from Late Oligocene to Quaternary* [Tesis doctoral, Universidad de Vigo]. http://hdl.handle.net/10261/101970

Iglesias, J., Ercilla, G., García-Gil, S., & Judd, A. G. (2010). Pockforms: an evaluation of pockmark-like seabed features on the landes plateau, Bay of Biscay. *Geo-Marine Letters, 30,* 207-219. https://doi.org/10.1007/s00367-009-0182-2

IHO [International Hydrographic Organization] (2008). Standardization of undersea feature names. Bathymetric publication no. 6. International Hydrographic Bureau, Mónaco.

IHO-IOC GEBCO (2011). Gazetteer of Undersea Feature Names, August 2011 version. www.gebco.net

IOC-Unesco & DG MARE (2019). Joint Road Map to accelerate Maritime/Marine Spatial Planning processes worldwide (MSP). Intergovernmental Oceanographic Commission (IOC-Unesco) & Directorate General for Maritime Affairs and Fisheries of the European Commission (DG MARE). http://www.mspglobal2030.org/wp-content/uploads/2019/03/Joint_Roadmap_MSP_v5.pdf

IOC-Unesco & European Commission (2020a). MSPglobal – Economía azu sostenible. IOC Brochure 2020-9. https://www.mspglobal2030.org/wp-content/uploads/2020/05/MSPglobal_Flyer_BlueEconomy_ES.pdf

IOC-Unesco & European Commission (2020b). MSPglobal – Objetivos de Desarrollo sostenible. IOC Brochure 2020-10. https://www.mspglobal2030.org/wp-content/uploads/2020/11/MSPglobal_Flyer_SDGs_ES_web.pdf

IOC-Unesco (2017). *Global Ocean Science Report – The current status of ocean science around the world*. Valdés, L. et al. (Eds.), Paris, Unesco Publishing. https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000250428

Iorga, M. C. & Lozier, M. S. (1999a). Signatures of the Mediterranean outflow from a North Atlantic climatology 1. Salinity and density fields. *Journal of Geophysical Reserarch, 104*(C11), 25985-26009. https://doi.org/10.1029/1999JC900115

Iorga, M. C. & Lozier, M. S. (1999b). Signatures of the Mediterranean outflow from a North Atlantic climatology 2. Diagnostic velocity fields. *Journal of Geophysical Reserarch, 104*(C11), 26011-26029. https://doi.org/10.1029/1999JC900204

Jarno, R., & Carval, D. (2019). SIMNORAT – Analysis of Data needs and existing gaps (D11). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2597323

Jay, S., & Gee, K. (Eds.) (2014). TPEA Good Practice Guide: Lessons for Cross-border MSP from Transboundary Planning in the European Atlantic. University of Liverpool. https://hdl.handle.net/10468/2718

Jay, S., Alves, F. L., O'Mahony, C., Gómez, M., Rooney, A., Almodovar, M., Gee, K., de Vivero, J. L. S., Gonçalves, J. M. S., Fernandes, M. L., Tello, O., Twomey, S., Prado, I., Fonseca, C., Bentes, L., Henriques, G., & Campos, A. (2016). Transboundary dimensions of marine spatial planning: Fostering interjurisdictional relations and governance. *Marine Policy, 65*, 85-96. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2015.12.025

Jouffray, J., Blasiak, R., Norström, A.V., Österblom, H., & Nyström, M. (2020). The Blue Acceleration: The Trajectory of Human Expansion into the Ocean. *One Earth, 2*(1), 43-54. https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.12.016

Judd, A. G., & Hovland, M. (2007). *Seabed Fluid Flow – The Impact on Geology, Biology and the Marine Environment* (475 pp). Cambridge University Press. https://doi.org/10.1017/CBO9780511535918

Julivert, M. (1971). Décollement tectonics in the Hercynian Cordillera of NW Spain. *American Journal of Science, 270*(1), 1-29. https://doi.org/10.2475/ajs.270.1.1

Karppi, I., Kokkonen, M., & Lähteenmäki-Smith, K. (2001). SWOT Analysis as a Basis for Regional Strategies. Nordregio. https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:norden:org:diva-248

Katsanevakis, S., Stelzenmüller, V., South, A., Sørensen, T., Jones, P., Kerr, S., Badalamenti, F., Anagnostou, C., Breen, P., Chust, G., D'Anna, G., Duijn, M., Filatova, T., Fiorentino, F., Hulsman, H., Johnson, K., Karageorgis, A., Mirto, S., Pipitone, C., Portelli, S., Qiu, W., Reiss, H., Sakellariou, D., Salomidi, M., van Hoof, L., Vassilopoulou, V., Vega Fernández, T., Vöge, S., Weber, A., Zenetos, A., & ter Hofstede, R. (2011). Ecosystem-based marine spatial management: Review of concepts, policies, tools, and critical issues. *Ocean & Coastal Management, 54*(1), 807-820. https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.09.002

Keijser, X., Ripken, M., Mayer, I., Warmelink, H., Abspoel, L., Fairgrieve, R., & Paris, C. (2018a). Stakeholder Engagement in Maritime Spatial Planning: The Efficacy of a Serious Game Approach. *Water, 10*(6), 724. https://doi.org/10.3390/w10060724

Keijser, X., Ripken, M., Warmelink, H., Abspoel, L., Fairgrieve, R., & Mayer, I. S. (2018b). Maritime spatial planning – a board game for stakeholder involvement. In H. K. Lukosch, G. Bekebrede, & R. Kortmann (Eds.), *Simulation Gaming. Applications for Sustainable Cities and Smart Infrastructures*: 48th International

Simulation and Gaming Association Conference. Part of the Lecture Notes in Computer Science book series (Vol. 10825, pp. 58-66). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-91902-7

Kostylev, V. E., & Hannah, C. G. (2007). Process-driven characterization and mapping of seabed habitats. In Todd, B. J., & Greene, H. G. (Eds.). *Mapping the Seafloor for Habitat Characterization*. Geological Association of Canada, Special Paper, 47, 171-184.

Kostylev, V. E., Todd, B. J., Fader, G., Courtney, R. C., Cameron, G. D. M., & Pickrill, R. A. (2001). Benthic habitat mapping on the Scotian Shelf based on multibeam bathymetry, surficial geology and sea floor photographs. *Marine Ecology Progress Series, 219*, 121-137. http://dx.doi.org/10.3354/meps219121

Laberg, J. S., Guidard, S., Mienert, J., Vorren, T. O., Haflidason, H., & Nygård, A. (2007). Morphology and morphogenesis of a high-latitude canyon area; the Andøya Canyon, Norwegian Sea. *Marine Geology, 246*(2-4), 68-85. http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2007.01.009

Lallemand, S., & Sibuet, J. C. (1986). Tectonic implications of canyon directions over the Northeast Atlantic Continental Margin. *Tectonics, 5*(7), 1125-1143. https://doi.org/10.1029/TC005i007p01125

Lastras, G., Acosta, J., Muñoz, A., & Canals, M. (2011a). Submarine canyon formation and evolution in the Argentine Continental Margin between 44° 130′ S and 48° S. *Geomorphology, 128*(3-4), 116-136. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2010.12.027

Lastras, G., Arzola, R. G., Masson, D. G., Wynn, R. B., Huvenne, V. A. I., Hühnerbach, V., & Canals, M. (2009). Geomorphology and sedimentary features in the Central Portuguese submarine canyons, Western Iberian margin. *Geomorphology, 103*(3), 310-329. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.06.013

Lastras, G., Canals, M., Amblas, D., Lavoie, C., Church, I., de Mol, B., Duran, R., Calafat, A. M., Hughes-Clarke, J. E., Smith, C. J., Heussner, S., & "Euroleón" cruise shipboard party (2011b). Understanding sediment dynamics of two large submarine val-leys from seafloor data: Blanes and La Fonera canyons, northwestern Mediterranean Sea. *Marine Geology, 280*(1-4), 20-39. https://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2010.11.005

Lavín, A., Valdés, L., Sánchez, F., Abaunza, P., Forest, A., Boucher, J., Lazure, P., Jegou, A. M. (2006). Bay of Biscay: The encountering of the ocean and the shelf. In Robinson, A. & Brink, K. (Eds.), *The Sea, Ideas and Observation on Progress in the Study of the Seas* (Volume 14, Part B, Chapter 24, pp. 935-1002), Harvard University Press. http://hdl.handle.net/10261/321279

Le Cann, B., & Serpette, A. (2009). Intense warm and saline upper ocean inflow in the southern Bay of Biscay in autumn/winter 2006/2007. *Continental Shelf Research, 29*(8) 1014-1025. https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.11.015

Le Pichon, X., Bonnin, J. C., Francheteau, J., & Sibuet, J. C. (1971). Une hypothèse d'évolution tectonique du Golfe de Gascogne. In Debysier, J., Le Pichon, X., & Montadert, M. (Eds.), *Histoire structurale du Golfe de Gascogne* (6.11, pp. 1-44), Technip.

Leduc, D., Rowden, A. A., Nodder, S. D., Berkenbusch, K., Probert, P. K., & Hadfield, M. G. (2014). Unusually high food availability in Kaikoura Canyon linked to distinct deep-sea nematode community. *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 104*, 310-318. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.06.003

Legendre, P., & Gallagher, E. D. (2001). Ecologically meaningful transformations for ordination of species data. *Oecologia, 129*, 271-280. https://doi.org/10.1007/s004420100716

Lima, S. & Dill, L. (1990). Behavioral decisions made under the risk of predation: a review and prospectus. *Canadian Journal of Zoology, 68*(4), 619-640. https://doi.org/10.1139/z90-092

Lindenkohl, A. (1891). Notes on the submarine channel of the Hudson River and other evidences of postglacial subsidence of the Middle Atlantic coast region. *American Journal of Science, s3-41*, 489-499.

Llave, E., Jané, G., Hernández-Molina, F. J., Ercilla, G., Juan, C., Roque, C., van Rooij, D., García, M., Brackenridge, R., Stow, D., Mena, A., & Gómez-Ballesteros, M. (2015). Bottom current processes along the iberian continental margin. *Boletín Geológico y Minero, 126*(2-3), 219-256.

Lobo, F. J., Durán, R., Roque, C., Ribó, M., Carrara, G., Mendes, I., Ferrín, A., Fernández Salas, L., García-Gil, S., Galparsoro Iza, I., & Bárcenas, P. (2015). Shelves around

the Iberian Peninsula (II): Evolutionary sedimentary patterns. *Boletín Geológico y Minero, 126*(2-3), 377-408. http://hdl.handle.net/10261/122891

López-Fernández, C., Pulgar, J. A., González-Cortina, J. M., Gallart, J., Díaz, J., & Ruíz, M. (2004). Actividad sísmica en el noroeste de la península ibérica observada por la red sísmica local del Proyecto GSPI (1999-2002). *Trabajos de Geología, 24*, 91-106.

Maes, F. (2008). The international legal framework for marine spatial planning. *Marine Policy, 32*(5), 797-810. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.013

Maestro, A., Bohoyo, F., López-Martínez, J., Acosta, J., Gómez-Ballesteros, M., Llave, E., Muñoz, A., Terrinha, P. G., Dominguez, M. y Fernández-Sáez, F., (2015). Influencia de los procesos tectónicos y volcánicos en la morfología de los márgenes continentales ibéricos [The influence of tectonic and volcanic processes on the morphology of the Iberian continental margins]. *Boletín Geológico y Minero, 126*(2-3), 427-482.

Maestro, A., Gallastegui, A., Moreta, M., Llave, E., Bohoyo, F., Druet, M., Navas, J., Mink, S., Fernández-Sáez, F., Catalán, M., Gómez-Ballesteros, M., Muñoz-Martín, A., & Granja-Bruña, J. L. (2021). Echo-character distribution in the Cantabrian Margin and the Biscay Abyssal Plain. *Journal of Maps, 17*(2), 533-542. https://doi.org/10.1080/17445647.2021.1973917

Maestro, A., López-Martínez, J., Llave, E., Bohoyo, F. Acosta, J., Hernández-Molina, F. J., Muñoz, A. and Jané, G. (2013). Geomorphology of the Iberian Continental Margin. *Geomorphology, 196*, 13-35. https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.022

Malod, J. A., & Mauffret, A. (1990). Iberian plate motions during the Mesozoic, *Tectonophysics, 184*(3-4), 261-278. https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90443-C

Malod, J. A., Boillot, G., Lepvier, C., Mascle, G., Taugourdeau-Lantz, J., Capdevila, R., Dupeuble, P. A., & Muller, C. (1982). Subduction and tectonics on the continental margin off northern Spain: Observations with the submersible Cyana. *Geological Society, London, Special Publications,10*(1), 309-315. https://doi.org/10.1144/gsl.sp.1982.010.01.20

Mamet, B., Comas, M. C., Boillot, G. (1991). Late Paleozoic basin on the West Galicia Atlantic margin. *Geology, 19*(7), 738-741. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019<0738:LPBOTW>2.3.CO;2

MAIA Project – Marine protected areas in the Atlantic arc. https://www.maia-network.org/homepage

Marques M., Quintela, A., Sousa, L. P., Silva, A., Alves, F. L., Dilasser, J., Ganne, M., Cervera-Núñez, C., Campillos-Llanos, M., Gómez-Ballesteros, M., Alloncle, N., & Giret, O. (2019a). SIMNORAT – Coordination of sectorial policies (D5). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2594703

Marques M., Quintela, A., Sousa, L. P., Silva, A., Alves, F. L., Dilasser, J., Ganne, M., Sala, P., Cervera- Núñez, C., Campillos-Llanos, M., Gómez-Ballesteros, M., Alloncle, N., & Giret, O. (2019b). SIMNORAT – The definition and application of MSP by the OSPAR Convention (D4). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2594687

Marques, M., Quintela, A., Sousa, L., Alves, F. L., Cervera-Núñez, C., Campillos-Llanos, M., Gómez-Ballesteros, M., Loret, A., Murciano, C., Simão, A. P., Costa, A. C., & Marques, J. M. (2019c). SIMNORAT – C1.3.6. Case study # 2 – Cross border MPA Galicia Bank – Vigo and Vasco da Gama Seamounts (D17). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2598366

MarSp (2018). Macaronesian Maritime Spatial Plannin. EASME/EMFF/2016/1.2.1.6/03SI2.763106. https://www.msp-platform.eu/projects/marsp-project-macaronesian-maritime-spatial-planning

MASPNOSE (2012). Preparatory Action on Marine Spatial Planning in the North Sea. EU DG MARE Call for proposals. https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/projects/preparatory-action-marine-spatial-planning-north-sea

Mazé et al., 1997] Mazé, J. P., Arhan, M., Mercier, H. (1997). Volume budget of the eastern boundary layer off the Iberian Peninsula. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 44*(9), 1543-1574. https://doi.org/10.1016/S0967-0637(97)00038-1

Mazières, A., Gillet, H., Castelle, B., Mulder, T., Guyot, C., Garlan, T., & Mallet, C. (2014). High-Resolution Morphobathymetric Analysis and Evolution of Capbreton Submarine Canyon Head (Southeast Bay of Biscay – French Atlantic Coast) over

the Last Decade Using Descriptive and Numerical Modeling. *Marine Geology, 351*, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2014.03.001

McArthur, M. A., Brooke, B., Przeslawski, R., Ryan, D. A., Lucieer, V. L., Nichol, S., McCallum, A., Mellin, C., Cresswell, I., & Radke, L. (2009). *A review of abiotic surrogates for marine benthic biodiversity*. Geoscience Australia Record 2009/42. 61 pp.

McCave, I. N., Hall, I. R., Antia, A. N., Chou, L., Dehairs, F., Lampitt, R. S., Thomsen, L., van Weering, T. C. E., & Wollast, R. (2001). Distribution, composition and flux of particulate material over the European margin at 47°–50° N, *Deep-Sea Research Part II, 48*(14-15), 3107-3139. https://doi.org/10.1016/S0967-0645(01)00034-0

McClain, C. & Barry, J. (2010). Habitat heterogeneity, disturbance, and productivity work in concert to regulate biodiversity in deep submarine canyons. *Ecology, 91*(4), 964-976. https://doi.org/10.1890/09-0087.1

MedPAN, UNEP/MAP-RAC/SPA (2016). The 2016 Status of Marine Protected Areas in the Mediterranean – Main findings. UN Environnement/MAP – SPA/RAC & MedPAN. https://www.rac-spa.org/sites/default/files/doc_medmpanet2/statut2016_brochure_en.pdf

Melo-Merino, S., Reyes-Bonilla, H. & Lira-Noriega, A. (2020). Ecological niche models and species distribution models in marine environments: A literature review and spatial analysis of evidence. *Ecological Modelling, 415*. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108837

Micallef, A., Krastel, S., & Savini, A. (2018). Introduction. In Micallef, A., Krastel, S., & Savini, A. (Eds.) *Submarine Geomorphology*. Springer Geology. Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-57852-1_1

Michel, G., Dupré, S., Baltzer, A., Ehrhold, A., Imbert, P., Pitel, M., & Deville, É. (2017). Pockmarks on the South Aquitaine Margin continental slope: The seabed expression of past fluid circulation and former bottom currents. *Comptes Rendus Geoscience, 349*(8), 391-401. https://doi.org/10.1016/j.crte.2017.10.003

Mills, M., Pressey, R. L., Weeks, R., Foale, S., & Ban, N. C. (2010). A mismatch of scales: challenges in planning for implementation of marine protected areas in the

Coral Triangle. *Conservation Letters, 3*(5), 291-303. http://dx.doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00134.x

Minang, P. A., Duguma, L. A., Alemagi, D., & van Noordwijk, M. (2015). Scale considerations in landscape approaches. In Minang, P. A., van Noordwijk, M., Freeman, O. E., Mbow, C., de Leeuw, J., & Catacutan, D. (Eds.), *Climate-Smart Landscapes: Multifunctionality in Practice* (pp. 121-133). World Agroforestry Centre (ICRAF). http://dx.doi.org/10.13140/2.1.3322.0160

MITERD [Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico] (2019). Ordenación del Espacio Marítimo. Ministerio para la Transición Ecológica y Reto Demográfico. Catálogo Publicaciones de la Administración General de Estado. NIPO: 638-19-018-7. Depósito legal: M-11370-2019.

MITERD [Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico] (2020). Estrategia Nacional de Infraestructura Verde y de la Conectividad y Restauración Ecológicas (IVCRE). https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/biodiversidad/temas/ecosistemas-y-conectividad/eniv_2021_tcm30-515864.pdf

MITERD. [Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico] (2023). Hábitats marinos de interés comunitario. https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/temas/biodiversidad-marina/habitats-especies-marinos/habitats-marinos/habitats-marinos-interes-comunitario.html

Modica, L., Rodríguez-Cabello, C., Rodríguez-Basalo, A., Ríos, P., Serrano, A., Parra, S., Gómez-Ballesteros, M., Arrese, B., & Sánchez, F. (2022). Demersal and epibenthic communities of sedimentary habitats in the Avilés Canyon System, Cantabrian Sea (NE Atlantic). *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 275*. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107966

Montereale-Gavazzi, G. (2019a): Development of seafloor mapping strategies supporting integrated marine management. Application of seafloor backscatter by multibeam echosounders. [Tesis, Universidad de Gante]. https://www.vliz.be/imisdocs/publications/341567.pdf

Montereale-Gavazzi, G., Roche, M., Degrendele, K., Lurton X., Terseleer, N., Baeye, M., Francken, F., & van Lancker, V. (2019b). Insights into the Short-Term Tidal Variability of Multibeam Backscatter from Field Experiments on Different

Seafloor Types. *Geosciences, 9*(1). https://doi.org/10.3390/geosciences9010034

Montero-Serrano, J. C., Frank, N., Tisnérat-Laborde, N., Colin, C., Wu, C. C., Lin, K., Shen, C. C., Copard, K., Orejas, C., Gori, A., de Mol, L., van Rooij, D., Reverdin, G., & Douville, E. (2013). Decadal changes in the mid-depth water mass dynamic of the Northeastern Atlantic margin (Bay of Biscay). *Earth and Planetary Science Letters, 364*, 134-144. https://doi.org/10.1016/j.epsl.2013.01.012

Mortensen, P. B., & Buhl-Mortensen, L. (2005). Deep-water corals and their habitats in The Gully, a submarine canyon off Atlantic Canada. In Freiwald, A., & Roberts, J. M. (Eds.), *Cold-Water Corals and Ecosystems. Erlangen Earth Conference Series* (pp 247-277). Springer. https://doi.org/10.1007/3-540-27673-4_12

MSP-MED (2020). Toward the operational implementation of MSP in our common Mediterranean Sea. EMFF-MSP-2019 call. https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/projects/toward-operational-implementation-msp-our-common-mediterranean-sea

Mulder, T., Cirac, P., Gaudin, M., Bourillet, J. F., Tranier, J., Normand, A., Weber, O., Griboulard, R., Jouanneau, J.M., Anschutz, P., & Jorissen, F. (2004). Understanding Continent-Ocean Sediment Transfer. *Eos, Transactions, American Geophysical Union, 85*(27), 257-262. https://doi.org/10.1029/2004EO270001

Mulder, T., Zaragosi, S., Garlan, T., Mavel, J., Cremer, M., Sottolichio, A., Sénéchal, N., & Schmidt, S. (2012). Present deep-submarine canyons activity in the Bay of Biscay (NE Atlantic). *Marine Geology, 295-298*, 113-127. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2011.12.005

Muñoz-Martín, A., Granja-Bruña, J. L., de la Fuente-Oliver, M. A., Druet, M., de Vicente, G., Gallastegui Suárez, J., & Maestro, A. (2022). MARIBNO Amphibious project: Role of the inherited tectonics in the structure of the Northwestern Iberian Margin. In 83rd EAGE Annual Conference & Exhibition (pp. 1-5). https://doi.org/10.3997/2214-4609.202210442

North East Atlantic MPA database. https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/projects/marine-protected-areas-atlantic-arc

OECD (2018). *OECD Economic Outlook, 2018*(1), OECD Publishing, Paris. https://doi.org/10.1787/eco_outlook-v2018-1-en

Olenin, S. & Ducrotoy, J. P. (2006). The concept of biotope in marine ecology and coastal management. *Marine Pollution Bulletin, 53*(1-4), 20-29. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.01.003

OSPAR (1992). Convention for the Protection of the Marine Environment of the North-East Atlantic. https://www.ospar.org/convention

Paillet, J., & Arhan, M. (1996). Oceanic Ventilation in the Eastern North Atlantic. *Journal of Physical Oceanography, 26*, 2036-2052. https://doi.org/10.1175/1520-0485(1996)026<2036:OVITEN>2.0.CO;2

Paillet, J., & Mercier, H. (1997). An inverse model of the eastern North Atlantic general circulation and thermocline ventilation. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 44*(8), 1293-1328. https://doi.org/10.1016/S0967-0637(97)00019-8

Paillet, J., Arhan, M., & McCartney, M. S. (1998). Spreading of Labrador Sea Water in the eastern North Atlantic. *Journal of Geophysical Research, 103*(C5), 10223-10239. https://doi.org/10.1029/98JC00262

Pairaud, I. L., Lyard, F., Auclair, F., Letellier, T., & Marsaleix, P. (2008). Dynamics of the semi-diurnal and quarter-diurnal internal tides in the Bay of Biscay. Part 1: Barotropic tides. *Continental Shelf Research, 28*(10-11), 1294-1315. https://doi.org/10.1016/j.csr.2008.03.004

Palanques, A., García-Ladona, E., Gomis, D., Martín, J., Marcos, M., Pascual, A., Puig, P., Gili, J. M., Emelianov, M., Monserrat, S., Guillén, J., Tintoré, J., Segura, M., Jordi, A., Ruiz, S., Basterretxea, G., Font, J., Blasco, D., &6 Pagès, F. (2005). General patterns of circulation, sediment fluxes and ecology of the Palamós (La Fonera) submarine canyon, northwestern Mediterranean. *Progress in Oceanography, 66*(2-4), 89-119. https://doi.org/10.1016/j.pocean.2004.07.016

Pascual, A., Cearreta, A., Rodríguez-Lázaro, J., & Uriarte, A. (2004). Chapter 3 – Geology and Palaeoceanography. In Borja, Á. & Collins, M. (Eds.) Oceanography and Marine Environment of the Basque Country, *Elservier Oceanography Series*, *70*, 53-73. https://doi.org/10.1016/S0422-9894(04)80041-2

Passlow, V., O'Hara, T., Daniell, J., Beaman, R. J., Twyford, L. M. (2006). *Sediments and Benthic Biota of Bass Strait: An Approach to Benthic Habitat Mapping*. Geoscience Australia Record 2004/23, 1-97.

Patil, P.G., Virdin, J., Diez, S.M., Roberts, J., & Singh, A. (2016). Toward A Blue Economy: A Promise for Sustainable Growth in the Caribbean; An Overview. The World Bank, Washington D.C. http://hdl.handle.net/10986/25061

Peliz, Á., Dubert, J., Haidvogel, D. B., & Le Cann, B. (2003). Generation and unstable evolution of a density-driven Eastern Poleward Current: The Iberian Poleward Current. *Journal of Geophysical Research, 108*(C8). https://doi.org/10.1029/2002JC001443

Pérez-Estaún, A., & Bea, F. (2004). Macizo Ibérico. En Vera, J. A. (Ed.), *Geología de España* (pp. 19-230). Sociedad Geológica de España e Instituto Geológico y Minero de España.

Pérez-Estaún, A., Bastida, F., Alonso, J. L., Marquínez, J., Aller, J., Álvarez-Marrón, J., Marcos, A., & Pulgar, J. A. (1988). A thin-skinned tectonics model for an arcuate fold and thrust belt: the Cantabrian Zone (Variscan Ibero-Armorican Arc). *Tectonics,7*(3), 517-537. https://doi.org/10.1029/TC007i003p00517

Pérez-Estaún, A., Pulgar, J. A., Álvarez-Marrón, J., & ESCIN-1 Group (1995). Crustal structure of the Cantabrian Zone: seismic image of the Variscan foreland Thrust and Fold Belt (NW Spain). *Revista de la Sociedad Geológica de España, 8*, 307-320.

Pınarbaşı, K., Galparsoro, I., Borja, Á., Stelzenmüller, V., Ehler, C. N., & Gimpel, A. (2017). Decision support tools in marine spatial planning: Present applications, gaps and future perspectives, *Marine Policy, 83*, 83-91. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2017.05.031

Pingree, R. D. (1993). Flow of surface waters to the west of the British Isles and in the Bay of Biscay, *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 40*(1-2), 369-388. https://doi.org/10.1016/0967-0645(93)90022-F

Pingree, R. D. (1994). Winter warming in the southern Bay of Biscay and Lagrangian eddy kinematics from a deep-drogued Argos buoy. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 74*, 107-128.

Pingree, R. D., & Le Cann, B. (1990). Structure, strength and seasonality of the slope currents in the Bay of Biscay region. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, *70*, 857-885.

Pingree, R. D., & Le Cann, B. (1992). Anticyclonic Eddy X91 in the Southern Bay of Biscay, May 1991 to February 1992. *Journal of Geophysical Research, 97*(C9), 14353-14367. https://doi.org/10.1029/92JC01181

Pingree, R. D., Mardell, G. T., & New, A. L. (1986). Propagation of internal tides from the upper slopes of the Bay of Biscay. *Nature, 321*, 154-158. https://doi.org/10.1038/321154a0

Pingree, R. D., Sinha, B., & Griffiths, C. R. (1999). Seasonality of the European slope current (Goban Spur) and ocean margin exchange. *Continental Shelf Research, 19*(7), 929-975. https://doi.org/10.1016/S0278-4343(98)00116-2

Pingree, R. D. (1973). A component of Labrador Sea Water in the Bay of Biscay. *Limnolo-gy and Oceanography, 18*(5), 711-718. https://doi.org/10.4319/lo.1973.18.5.0711

Pittman, S. J., Christensen, J. D., Caldow, C., Menza, C., & Monaco, M. E. (2007). Predictive mapping of fish species richness across shallow-water seascapes in the Caribbean. *Ecological Modelling, 204*(1-2), 9-21. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2006.12.017

Pollard, S., Griffiths, C. R., Cunningham, S. A., Read, J. F., Pérez, F. F. & Ríos, A. F. (1996). Vivaldi 1991 – A study of the formation, circulation and ventilation of Eastern North Atlantic Central Water. *Progress in Oceanography, 37*(2), 167-192. https://doi.org/10.1016/S0079-6611(96)00008-0

Puig, P., Canals, M., Company, J. B., Martín, J., Amblas, D., Lastras, G., Palanques, A., & Calafat, A. M. (2012). Ploughing the deep sea floor. Nature, 489, 286-289. https://doi.org/10.1038/nature11410

Puig, P., Palanques, A., & Martín, J. (2014). Contemporary sediment-transport processes in submarine canyons. *Annual Review of Marine Science, 6*, 53-77. https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010213-135037

Pulgar, J. A., Alonso, J. L., Espina, R. G. and Marín, J. A. (1999). La deformación alpina en el basamento varisco de la Zona Cantábrica. *Trabajos de Geología*, 21, 283-294. https://doi.org/10.17811/tdg.21.1999.283-295

Pulgar, J.A., Gallart, J., Fernández-Viejo, G., Pérez-Estaún, A., & Álvarez-Marrón, J. (1996). Seismic image of the Cantabrian Mountains in the western extension of the

Pyrenees from integrated ESCIN reflection and refraction data. *Tectonophysics, 264*(1-4), 1-19. https://doi.org/10.1016/S0040-1951(96)00114-X

Punzón, A., Arronte, J., Sánchez, F., & García-Alegre, A. (2016). Spatial characterization of the fisheries in the Avilés Canyon System (Cantabrian Sea, Spain). *Ciencias Marinas, 42*(4), 237-260. https://doi.org/10.7773/cm.v42i4.2628

Quattrini, A. M., Nizinski, M. S., Chaytor, J. D., Demopoulos, A. W. J., Roark, E. B., France, S. C., Moore, J. A., Taylor, H., Auster, P. J., Kinlan, B., Ruppel, C., Elliot, K. P., Kennedy, B. R. C., Lobecker, E., Skarke, A., & Shank, T. M. (2015). Exploration of the Canyon-Incised Continental Margin of the Northeastern United States Reveals Dynamic Habitats and Diverse Communities. *PLoS ONE, 10*(10). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0139904

Queffelec, B. (2013). Planification de l'espace maritime et approche écosystémique en contexte transfrontalier : illustration franco-belge. *VertigO, Hors-série 18*. https://doi.org/10.4000/vertigo.14282

Quintela, A., Cervera-Núñez, C., Marques, M., Sousa, L. P., Silva, A., Alves, F. L., Sala, P., Dilasser, J., Ganne, M., Campillos-Llanos, M., Gómez-Ballesteros, M., Alloncle, N., & Giret, O. (2019). SIMNORAT – Conceptual method: Major steps (D3). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2594661

Rees, S., Rodwell, L., Attrill, M., Austen, M., & Mangi, Stephen. (2010). The value of marine biodiversity to the leisure and recreation industry and its application to marine spatial planning. *Marine Policy, 34*(5), 868-875. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2010.01.009

Reiss, H., Birchenough, S., Borja, A., Buhl-Mortensen, L., Craeymeersch, J., Dannheim, J., Darr, A., Galparsoro, I., Gogina, M., Neumann, H., Populus, J., Rengstorf, A. M., Valle, M., van Hoey, G., Zettler, M. L., & Degraer, S. (2014). Benthos distribution modelling and its relevance for marine ecosystem management. *ICES Journal of Marine Science, 72*(2), 297-315. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu107

Riaza Molina, C. (1996). Inversión estructural en la cuenca mesozoica del off-shore asturiano. Revisión de un modelo exploratorio. *Geogaceta, 20*, 169-171. http://hdl.handle.net/10272/11399

Ríos, P., Prado, E., Carvalho, F.C., Sánchez, F., Rodríguez-Basalo, A., Xavier, J.R., Ibarrola, T.P., Cristobo, J., 2020. Community composition and habitat characterization of a rock sponge aggregation (Porifera, Corallistidae) in the Cantabrian Sea. Front. Mar. Sci. 7, 578. https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00578

Roberts, J. M., Davies, A. J., Henry, L. A., Dodds, L. A., Duineveld, G. C. A., Lavaleye, M. S. S., Maier, C., van Soest, R. W. M., Bergman, M. J. N., Hühnerbach, V., Huvenne, V. A. I., Sinclair, D. J., Watmough, T., Long, D., Green, S. L., & van Haren, H. (2009). Mingulay reef complex: an interdisciplinary study of cold-water coral habitat, hydrography and biodiversity. *Marine Ecology Progress Series, 397*, 139-151. https://doi.org/10.3354/meps08112

Roberts, J. M., Wheeler, A. J., & Freiwald, A. (2006). Reefs of the deep: the biology and geology of cold-water coral ecosystems. *Science, 312(5773)*, 543-547. https://doi.org/10.1126/science.1119861

Roca, E., Muñoz, J. A., Ferrer, O., & Ellouz, N. (2011). The role of the Bay of Biscay Mesozoic extensional structure in the configuration of the Pyrenean orogen: Constraints from the MARCONI deep seismic reflection survey. *Tectonics, 30*(2), 1-33. https://doi.org/10.1029/2010TC002735

Rodíguez, J. & Ruíz, J. (2010). Conservación y protección de ecosistemas marinos: conceptos, herramientas y ejemplos de actuaciones. *Ecosistemas - Revista científica de ecología y medio ambiente, 19*(2), 5-23. https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/43

Rodríguez, J. G. & Uriarte, A. (2009). Laser Diffraction and Dry-Sieving Grain Size Analyses Undertaken on Fine and Medium-Grained Sandy Marine Sediments: A Note. *Journal of Coastal Research, 25*, 257-264. https://doi.org/10.2112/08-1012.1

Rodríguez, J. G., Garmendia, J. M., Muxika, I., Gómez Ballesteros, M., Quincoces, I., Díez, I., Arrese, B., Sánchez, F., & Galparsoro Iza, I. (2021). Macrofaunal variability in the continental shelf and canyons in the southeastern Bay of Biscay. *Regional Studies in Marine Science, 48*(4). https://doi.org/10.1016/j.rsma.2021.102012

Rodríguez-Basalo, A., Prado, E., Sánchez, F., Ríos, P., Gómez-Ballesteros, M., & Cristobo, J. (2021) High Resolution Spatial Distribution for the Hexactinellid

Sponges *Asconema setubalense* and *Pheronema carpenteri* in the Central Cantabrian Sea. *Frontiers in Marine Science, 8*. https://doi.org/10.3389/fmars.2021.612761

Rodríguez-Basalo, A., Ríos, P., Arrese, B., Abad-Uribarren, A., Cristobo, J., Ibarrola, T. P., Gómez-Ballesteros, M., Prado, E., & Sánchez, F. (2022). Mapping the habitats of a complex circalittoral rocky shelf in the Cantabrian Sea (south Bay of Biscay). *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 273*. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2022.107912

Rodríguez-Basalo, A.; Sánchez, F.; Punzón, A.; & Gómez-Ballesteros, M. (2019). Updating the master management plan for El Cachucho MPA (Cantabrian Sea) using a spatial planning approach. *Continental Shelf Research, 184*, 54-65. https://doi.org/10.1016/j.csr.2019.06.010

Rodríguez-Fernández, L. R., López-Olmedo, F., Oliveira, J. T., Medialdea, T., Terrinha, P., Matas, J., Martín-Serrano, A., Martín Parra, L. M., Rubio, F., Marín, C., Montes, M., & Nozal, F. (2014). Mapa Geológico de España y Portugal a escala 1:1.000.000. Instituto Geológico y Minero de España.

Rodríguez-Santalla, I., Montoya-Montes, I., Sánchez, M. J., & Carreño, F. (2009). Geographic Information Systems applied to Integrated Coastal Zone Management. *Geomorphology, 107*(1-2), 100-105. http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2007.05.023

Roest, W. R., & Srivastava, S. P. (1991). Kinematics of the plate boundaries between Eurasia, Iberia, and Africa in the North Atlantic from the Late Cretaceous to the present. *Geology, 19*(6), 613-616. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1991)019%3C0613:KOTPBB%3E2.3.CO;2

Ruiz-Villarreal, M., González-Pola, C., Díaz del Río, G., Lavín, A., Otero, P., Piedracoba, S., & Cabanas, J. M. (2006). Oceanographic conditions in North and Northwest Iberia and their influence on the *Prestige* oil spill. *Marine Pollution Bulletin, 53*(5-7), 220-238. https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2006.03.011

Ryan, D. A., Brooke, B. P., Collins, L. B., Kendrick, G.A ., Baxter, K. J., Bickers, A. N., Siwabessy, P. J. W., & Pattiaratchi, C. B. (2007). The influence of geomorphology and sedimentary pro-cesses on shallow-water benthic habitat distribution: Esperance Bay, Western Australia. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 72*(1-2), 379-386. https://doi.org/10.1016/j.ecss.2006.10.008

Ryan, J., Chavez, F., & Bellingham, J. (2005). Physical-biological coupling in Monterey Bay, California: Topographic influences on phytoplankton ecology. *Marine Ecology Progress Series, 287*, 23-32. https://doi.org/10.3354/meps287023

Salomidi, M., Katsanevakis, S., Borja, A., Braeckman, U., Damalas, D., Galparsoro, I., Mifsud, R., Mirto, S., Pascual, M., Pipitone, C., Rabaut, M., Todorova, V., Vassilopoulou, V., & Vega Fernández, T. (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. https://doi.org/10.12681/mms.23

Sánchez, F., & Gil, J. (2000). Hydrographic mesoscale structures and Poleward Current as a determinant of hake (Merluccius merluccius) recruitment in southern Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science, 57*(1). https://doi.org/10.1006/jmsc.1999.0566

Sánchez, F., & Olaso, I. (2004). Effects of fisheries on the Cantabrian Sea shelf ecosystem. *Ecological Modelling, 172*(2-4), 151-174. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2003.09.005

Sánchez, F., & Rodríguez, J. M. (2013). Politolana, a new low cost towed vehicle designed for the characterization of the deep-sea habitats and benthic communities. *Instrumentation Viewpoint*, *69.*

Sánchez, F., Gómez-Ballesteros, M., González-Pola, C., & Punzón, A. (2014a). *Sistema de cañones submarinos de Avilés*. Proyecto LIFE +INDEMARES. Ed. Fundación Biodiversidad del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. https://www.indemares.es/areas-marinas/sistema-de-canones-submarinos-de-aviles

Sánchez, F., González-Pola, C., Druet, M., García-Alegre, A., Acosta, J., Cristobo, J., Parra, S., Ríos, P., Altuna, A., Gómez-Ballesteros, M., Muñoz-Recio, A., Rivera, J., & Díaz del Río, G. (2014b). Habitat characterization of deep-water coral reefs in La Gaviera Canyon (Avilés Canyon System, Cantabrian Sea). *Deep Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 106*, 118-140. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2013.12.014

Sánchez, F., Rodríguez-Basalo, A., García-Alegre, A., Gómez-Ballesteros, M. (2017). Hard-bottom bathyal habitats and keystone epibenthic species on Le Danois

Bank (Cantabrian Sea). *Journal of Sea Research, 130*, 134-153. https://doi.org/10.1016/j.seares.2017.09.005

Sánchez, F., Serrano, A., & Gómez Ballesteros, M. (2009). Photogrammetric quantitative study of habitat and benthic communities of deep Cantabrian Sea hard grounds. *Continental Shelf Research, 29*, 1174-1188. https://doi.org/10.1016/j.csr.2009.01.004

Sánchez, F., Rodríguez-Basalo, A., Modica, L., Ríos, P., Abad, A. y Rodríguez-Cabello, C. (2022). Informe sobre la caracterización, cartografiado y estado de conservación de los hábitats bentónicos del LIC- ESZZ12003. «Sistema de Cañones Submarinos de Avilés», (Demarcación Norte). Informe INTEMARES. https://intemares.es/sites/default/files/12._habitats_canones_de_aviles.pdf

Sardá, R. (2019). Identificación de los servicios del ecosistema del medio marino de la Costa Brava (Girona) (62 pp.). CEAB-CSIC.

Schultz-Zehden, A., Gee, K., & Scibior, K.(2008) Handbook on Integrated Maritime Spatial Planning. http://www.plancoast.eu/files/handbook_web.pdf

Serrano, A., González-Irusta, J. M., Punzón, A., García-Alegre, A., Lourido, A., Ríos, P., Blanco, M., Gómez-Ballesteros, M., Druet, M., Cristobo, J., Cartes, J. E. (2017). Deep sea benthic habitats modeling and mapping in a NE Atlantic seamount (Galicia Bank). *Deep-Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 126*, 115-127. https://doi.org/10.1016/j.dsr.2017.06.003

Serrano, A., de la Torriente, A., Punzón, A., Blanco, M., Bellas, J., Durán-Muñoz, P., Murillo, F. J., Sacau, M., García-Alegre, A., Antolínez, A., Elliott, S., Guerin, L., Vina-Herbón, C., Marra, S., & González-Irusta, J. M. (2022). Sentinels of Seabed (SoS) indicator: Assessing benthic habitats condition using typical and sensitive species. *Ecological Indicators, 140*. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2022.108979

Serrano, A., Sánchez, F., Cartes, J.E., Sorbe, J. C., Parra-Descalzo, S., Frutos-Parralejo, M. I., Olaso-Toca, L. I., Velasco, F., Punzón, A., Muñoz, A., Gómez, M., Pola C., & Preciado, I. (2005). ECOMARG Project: a multidisciplinary study of Le Danois Bank (Cantabrian Sea, N Spain). ICES CM 2005/P:11

Seton, M., Whittaker, J., Wessel, P., Müller, R. D., DeMets, C., Merkouriev, S., Cande, S., Gaina, C., Eagles, G.,Granot, R., Stock, J., Wright, N., & Williams, S. (2014).

Community infrastructure and repository for marinemagnetic identifications. *Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 15*(4), 1629-1641. https://doi.org/10.1002/2013GC005176

Shepard, F. P. (1936). The underlying causes of submarine canyons. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA, 22*(8), 496-502. https://doi.org/10.1073/pnas.22.8.496

Shepard, F. P. (1963). *Submarine Geology*. Harper & Row.

Shepard, F. P. (1972). Submarine canyons. *Earth-Sciece Reviews, 8*(1), 1-12. https://doi.org/10.1016/0012-8252(72)90032-3

Shepard, F. P. (1981). Submarine canyons: multiple causes and long-time persistence. *AAPG Bulletin, 65*, 1062-1077.

Shepard, F. P. & Dill, R. F. (1966). *Submarine Canyons and Other Sea Valleys*. Rand McNally.

Sibuet, J. C., Srivastava, S. P., & Spakman, W. (2004). Pyrenean orogeny and plate kinematics. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth, 109*. https://doi.org/10.1029/2003JB002514

SIMAtlantic (2019). Supporting Implementation of Maritime Spatial Planning in the Atlantic region. EASME/EMFF/2018/1.2.1.5/001. https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/projects/supporting-implementation-maritime-spatial-planning-atlantic-region

SIMNORAT (2017). Supporting Maritime Spatial Planning in the North Atlantic. EASME/EMFF/2015/1.2.1.3/03/SI2.742089. https://www.msp-platform.eu/projects/supporting-implementation-maritime-spatial-planning-north-atlantic-region

SIMWESTMED (2017). Supporting Maritime Spatial Planning in the Western Mediterranean region. EASME/EMFF/2015/1.2.1.3/02/SI2.742101. https://maritime-spatial-planning.ec.europa.eu/projects/supporting-maritime-spatial-planning-western-mediterranean-region

Smith, N., Belpaeme, K., Maelfait, H., Vanhooren, S., & Buchan, K. (2012). Why one size won't fit all: Marine Spatial Planning in Belgium & Dorset. C-Scope. https://www.cscope.eu/_files/results/c-scope-report.pdf

Soldal, E., Bekkby, T., Rinde, E., Bakkestuen, V., Erikstad, L., Longva, O., & Isaeus, M. (2009). Predictive Probability Modelling of Marine Habitats – A Case Study from the West Coast of Norway. In Moksness, E., Dahl, E., & Støttrup, J. (Eds.), *Integrated Coastal Zone Management* (pp. 57-65) http://dx.doi.org/10.1002/9781444316285.ch5

Sousa, L. P., Dilasser, J., Ganne, M., Cervera- Nuñez, C., Quintela, A., Marques, M., Silva, A., Alves, F. L., Sala, P., Campillos-Llanos, M., Gómez- Ballesteros, M., Alloncle, N., & Giret, O. (2019). SIMNORAT – Land Sea Interactions and Relationships with Integrated Coastal Zone Management (D6). Zenodo. https://doi.org/10.5281/zenodo.2594720

Srivastava, S., Roest, W. R., Kovacs, L., Oakey, G. N., Lévesque, S., Verhoef, J., & Macnab, R. F. (1990a). Motion of Iberia since the Late Jurassic: Results from detailed aeromagnetic measurements in the Newfoundland Basin. *Tectonophy-sics*, *184*, 229-260. https://doi.org/10.1016/0040-1951(90)90442-B

Srivastava, S., Schouten, H., Roest, W., Klitgord, K. D., Kovacs, L. C., Verhoef, J. & Macnab, R. (1990b). Iberian plate kinematics: a jumping plate boundary between Eurasia and Africa. *Nature 344*, 756-759. https://doi.org/10.1038/344756a0

Srivastava, S., Sibuet, J. C., Cande, S., Roest, W. R., & Reid, I.D. (2000). Magnetic evidence for slow seafloor spreading during the formation of the Newfoundland and Iberian margins. *Earth and Planetary Science Letters, 182*(1), 61-76. https://doi.org/10.1016/S0012-821X(00)00231-4

St. Martin, K, & Hall-Arber, M. (2008). The missing layer: Geo-technologies, communities, and implications for marine spatial planning. *Marine Policy, 32,*(5), 779-786. https://doi.org/10.1016/j.marpol.2008.03.015

Steffen, W. (2021). Introducing the Anthropocene: The human epoch. *Ambio, 50*(10), 1784-1787. https://doi.org/10.1007/s13280-020-01489-4

Steffen, W., Grinevald, J., Crutzen, P., & McNeill, J. (2011). The Anthropocene: Conceptual and historical perspectives. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 369*(1938), 842-867. https://doi.org/10.1098/rsta.2010.0327

Stelzenmüller, V., Fock, H. O., Gimpel, A., Rambo, H., Diekmann, R., Probst, W. N., Callies, U., Bockelmann, F., Neumann, H., & Kröncke, I. (2015). Quantitative environmental risk assessments in the context of marine spatial management: current approaches and some perspectives, *ICES Journal of Marine Science, 72*(3), 1022-1042. https://doi.org/10.1093/icesjms/fsu206

Taylor, J., Dowdeswell, J. A., & Kenyon, N. H. (2000). Canyons and late Quaternary sedimentation on the North Norwegian margin. *Marine Geology, 166*(1-4), 1-9. https://doi.org/10.1016/S0025-3227(00)00010-4

Templado, J., Ballesteros, E., Galparsoro, I., Borja, A., Serrano, A., Marín, L. & Brito, A. (2012). Inventario Español de Hábitats y Especies Marinos. Guía Interpretativa: Inventario Español de Hábitats Marinos. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Gobierno de España. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ceneam/recursos/pag-web/GUIA%20INTERP_HABITATS_WEB_tcm30-157264.pdf

Thinon, I., L. Fidalgo-González, J.-P. Réhault, and J.-L. Olivet (2001). Pyrenean deformations in the Bay of Biscay, *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Series IIA, Earth and Planetary Science, 332*, 561-568. https://doi.org/10.1016/S1251-8050(01)01576-2

Todd, B. J., Brown, C. J., Curtis, B., Kirchhoff, S., Lacharité, M., Sameoto, J. A., & Church, I. (2020). Chapter 13 – Seabed habitats of the Bay of Fundy, Atlantic Canada. In Harris, P. T., Baker, K. (Eds.), *Seafloor Geomorphology as Benthic Habitat* (Second Edition, pp. 243-266). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814960-7.00013-0

Torsvik, T. H., Müller, R. D., van der Voo, R., Steinberg, B., Gaina, C. (2008). Global plate motion frames: Toward a unified model. *Reviews of Geophysics, 46*(3). https://doi.org/10.1029/2007RG000227

TPEA (2012). Transboundary Planning in the European Atlantic. https://www.msp-platform.eu/projects/transboundary-planning-european-atlantic

Tranier, J. (2002). *Etude des processus sédimentaires dans la partie supérieure du canyon de Capbreton*, *Origine des terrasses*. DEA, Universidad de Burdeos 134 pp.

United Nations (1982). Convención de las Naciones Unidas sobre el Derecho del Mar (UNCLOS, United Nations Convention on the Law of the Sea) o CONVEMAR.

https://www.un.org/depts/los/convention_agreements/texts/unclos/convemar_es.pdf

United Nations (1991). Espoo Convention on Environmental Impact Assessment in a Transboundary Context. United Nations Treaty Series, vol. 1989, XXVII.4, p. 309. https://treaties.un.org/doc/Treaties/1991/02/19910225%2008-29%20PM/Ch_XXVII_04p.pdf

United Nations (1992). United Nations Environment Programme. Convention on Biological Diversity, June 1992. https://wedocs.unep.org/20.500.11822/8340

United Nations (2017) Our ocean, our future: call for action. Draft resolution submitted by the President of the General Assembly, A/RES/71/312. New York, United Nations General Assembly. https://digitallibrary.un.org/record/1290893

United Nations (2021) UN Environment Programme. Becoming #GenerationRestoration: Ecosystem restoration for people, nature and climate. Nairobi. https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/36251/ERPNC.pdf

United Nations (2023) Biodiversity Beyond National Jurisdiction Agreement –Draft agreement under the United Nations Convention on the Law of the Sea on the conservation and sustainable use of marine biological diversity of areas beyond national jurisdiction. General Assembly, United Nations. https://www.un.org/bbnj/sites/www.un.org.bbnj/files/draft_agreement_advanced_unedited_for_posting_v1.pdf

Vachtman, D., Mitchell, N. C., & Gawthorpe, R. (2013). Morphologic signatures in submarine canyons and gullies, central USA Atlantic continental margins. *Marine and Petroleum Geology, 41*, 250-263. https://doi.org/10.1016/j.marpetgeo.2012.02.005

Valle, M., Borja, Á., Chust, G., Galparsoro, I., & Garmendia, J. M. (2011). Modelling suitable habitats for *Zostera noltii* within the Oka estuary (Basque Country), using Ecological Niche Factor Analysis and bathymetric LiDAR. *Estuarine, Coastal and Shelf Science, 94*(2), 144-154. http://dx.doi.org/10.1016/j.ecss.2011.05.031

van Aken, H. M. (2000a). The hydrography of the mid-latitude northeast Atlantic Ocean I: The deep water masses. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 47*(5), 757-788 https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00092-8

van Aken, H. M. (2000b). The hydrography of the mid-latitude Northeast Atlantic Ocean II: The intermediate water masses. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 47*(5), 789-824. https://doi.org/10.1016/S0967-0637(99)00112-0

van Aken, H. M. (2001) The hydrography of the mid-latitude Northeast Atlantic Ocean – Part III: the subducted thermocline water mass. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 48*(1), 237-267. https://doi.org/10.1016/S0967-0637(00)00059-5

van Aken, H. M. (2002). Surface currents in the Bay of Biscay as observed with drifters between 1995 and 1999, *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers, 49*(6), 1071-1086. https://doi.org/10.1016/S0967-0637(02)00017-1

van den Beld, I., Bourillet, J. F., Arnaud-Haond, S., de Chambure, L., Davies, J. S., Guillaumont, B., Olu, K., & Menot, L. (2017). Cold-Water Coral Habitats in Submarine Canyons of the Bay of Biscay. *Frontiers in Marine Scidence, 4*. https://doi.org/10.3389/fmars.2017.00118

van der Voo, R. (1969). Paleomagnetic evidence for the rotation of the Iberian Peninsula, *Tectonophysics, 7*(1), 5-56. https://doi.org/10.1016/0040-1951(69)90063-8

van Rooij, D., Iglesias, J., Hernández-Molina, F., Ercilla, G., Gómez-Ballesteros, M., Casas, D., Llave, E., de Hauwere, A., García-Gil, S., Acosta Yepes, J., Henriet, J. P. (2010). The Le Danois Contourite Depositional System: Interactions between the Mediterranean Outflow Water and the upper Cantabrian slope (North Iberian margin). *Marine Geology, 274*(1-4), 1-20. https://doi.org/10.1016/j.margeo.2010.03.001

van Tatenhove, J. P. (2010). Integrated marine governance: rethinking legitimacy and accountability. In ECPR Standing Group on Regulatory Governance Third Biennial Conference “Regulation in the Age of Crisis” (pp. 1-21). Dublin.

van Tatenhove, J. P. (2016). Chapter 3: Marine Governance: Institutional Capacity-building in a Multi-level Governance. In Gilek, M., & Kerk, K. (Eds.), *Governing Europe's Marine Environment, Europeanization of Regional Seas or Regionalization of EU Policies?* Routledge.

van Weering, T. C. E., de Stigter, H. C., Boer, W., & de Haas, H. (2002). Recent sediment transport and accumulation on the NW Iberian margin. *Progress in Oceanography, 52*(2-4), 349-371. https://doi.org/10.1016/S0079-6611(02)00015-0

Vertino, A., Savini, A., Rosso, A., di Geronimo, I., Mastrototaro, F., Sanfilippo, R., Gay, G. & Etiope, G. (2010). Benthic habitat characterization and distribution from two representative sites of the deep-water SML Coral Province (Mediterranean). *Deep-Sea Research Part II: Topical Studies in Oceanography, 57*(5-6), 380-396. https://doi.org/10.1016/j.dsr2.2009.08.023

Vigneaux, M. (1974). The Geology and Sedimentation History of the Bay of Biscay. In Nairn, A. E. M., Stehli, F. G. (Eds.). *The Ocean Basins and Margins* (pp. 273-314) . Springer. https://doi.org/10.1007/978-1-4684-3033-2_9

Vissers, R. L. M., & Meijer, P. Th. (2012a). Mesozoic rotation of Iberia: Subduction in the Pyrenees? *Earth-Science Reviews, 110*, 93-110. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.11.001

Vissers, R. L. M., & Meijer, P. Th. (2012b). Iberian plate kinematics and Alpine collision in the Pyrenees. *Earth-Science Reviews, 114*(1-2), 61-83. https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2012.05.001

Walbridge, S., Slocum, N., Pobuda, M., & Wright, D. J. (2018). Unified geomorphological analysis workflows with benthic terrain modeler. *Geosciences, 8*(3), 94. https://doi.org/10.3390/geosciences8030094

Wang, H. (2004). Ecosystem management and its application to large marine ecosystems: science, law and politics. *Ocean Development and International Law, 35*(1): 41-74. https://doi.org/10.1080/00908320490264382

Ward, T. J., Vanderklift, M. A., Nicholls, A. O., & Kenchington, R. A. (1999). Selecting marine reserves using habitats and species assemblages as surrogates. *Ecological Applications, 9*, 691-698.

WestMed Initiative (2016). https://www.westmed-initiative.eu/wp-content/uploads/2016/02/EN-Declaration-and-roadmap.pdf

Wilson, J. H., & Beyene, A. (2007). California wave energy resource evaluation. *Journal of Coastal Research, 23*(3), 679-690. http://www.jstor.org/stable/4494237

Wright, D. J.,& Heyman, W. D. (2008). Introduction to the Special Issue: Marine and Coastal GIS for Geomorphology, Habitat Mapping, and Marine Reserves. *Marine Geodesy, 31*, 223-230.

Zajac, R. N. (2008). Macrobenthic biodiversity and sea floor landscape structure. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology, 366*(1), 198-203. http://dx.doi.org/10.1016/j.jembe.2008.07.025

Zaucha, J. (2012). Offshore spatial information – Maritime spatial planning in Poland. *Regional Studies, 64*(4), 459-473. https://doi.org/10.1080/00343404.2012.668615

Ziegler, P. A. (1989): Evolution of the North Atlantic – An overwiev. In Tankard, A. J. & Balkwill, H. R. (Eds.), Extensional tectonics and stratigraphy of the North Atlantic margins. AAPG Memoir, 46, 111-129. https://doi.org/10.1306/M46497C8

ANEXO

Cartografía generada en Avilés y Capbreton

ÍNDICE DE PRODUCTOS CARTOGRÁFICOS

Sistema de cañones submarinos de Avilés

1. Batimetría 50 m de resolución 343

2. Sombreado 50 m de resolución 344

3. Pendiente 50 m de resolución 345

4. Orientación del fondo 50 m de resolución 346

5. Curvatura total 50 m de resolución espacial 347

6. Índice de posición batimétrica escala gruesa 348

7. Índice de posición batimétrica escala fina 349

8. Reflectividad 10 m de resolución 350

9. Tipo de fondo 10 m de resolución 351

10. Geomorfología lineal 352

11. Geomorfología poligonal 353

12. Interpretación geomorfológica 354

Sistema de cañones submarinos de Capbreton

13. Batimetría 10 m de resolución 355

14. Sombrado 10 m de resolución 356

15. Pendiente 10 m de resolución 357

16. Orientación 10 m de resolución 358

17. Curvatura 10 m de resolución 359

18. Índice de posición batimétrica escala gruesa 360

18. Índice de posición batimétrica escala fina 361

19. Rugosidad 10 m de resolución 362

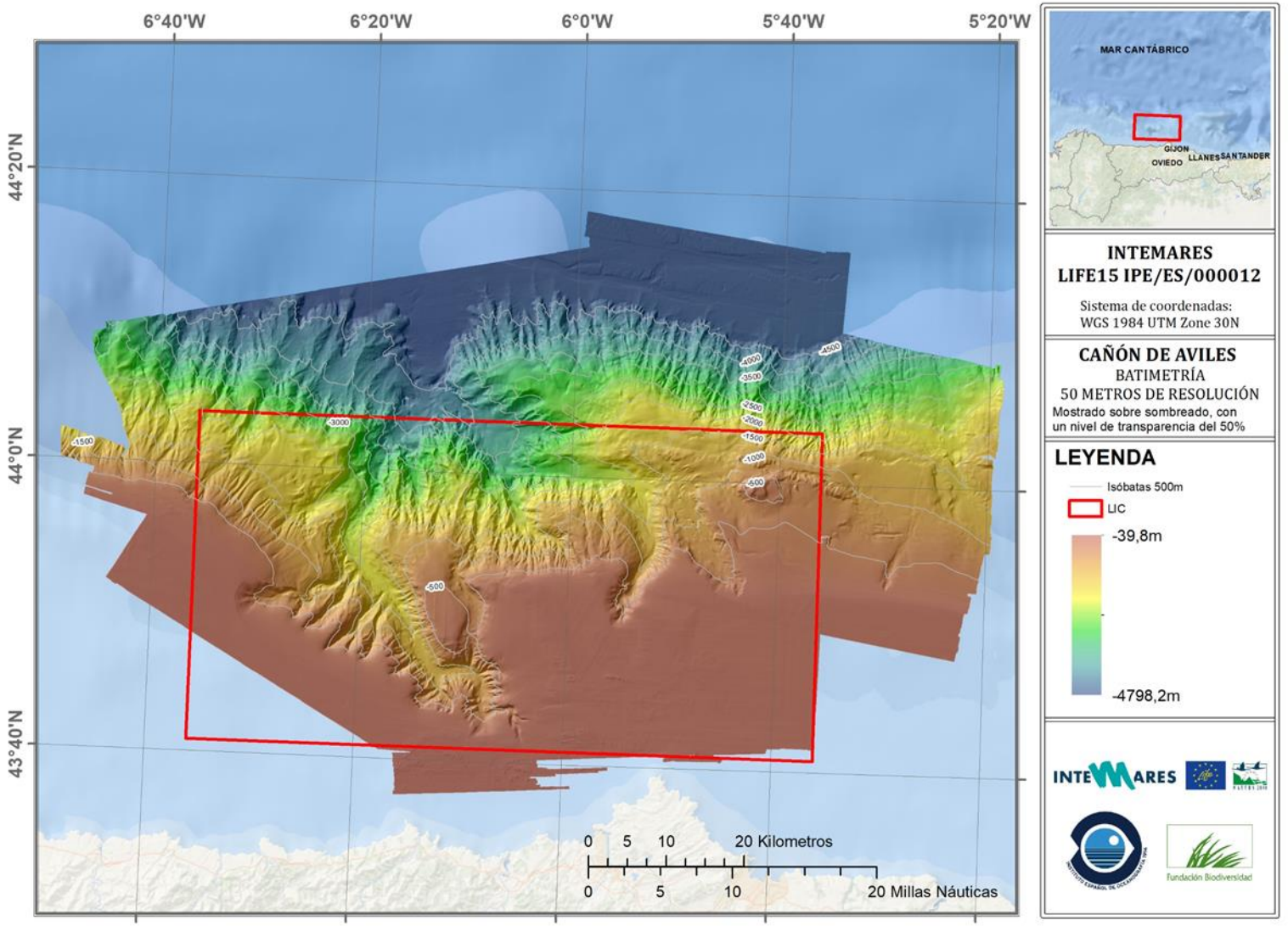
20. Reflectividad 10 m de resolución 363

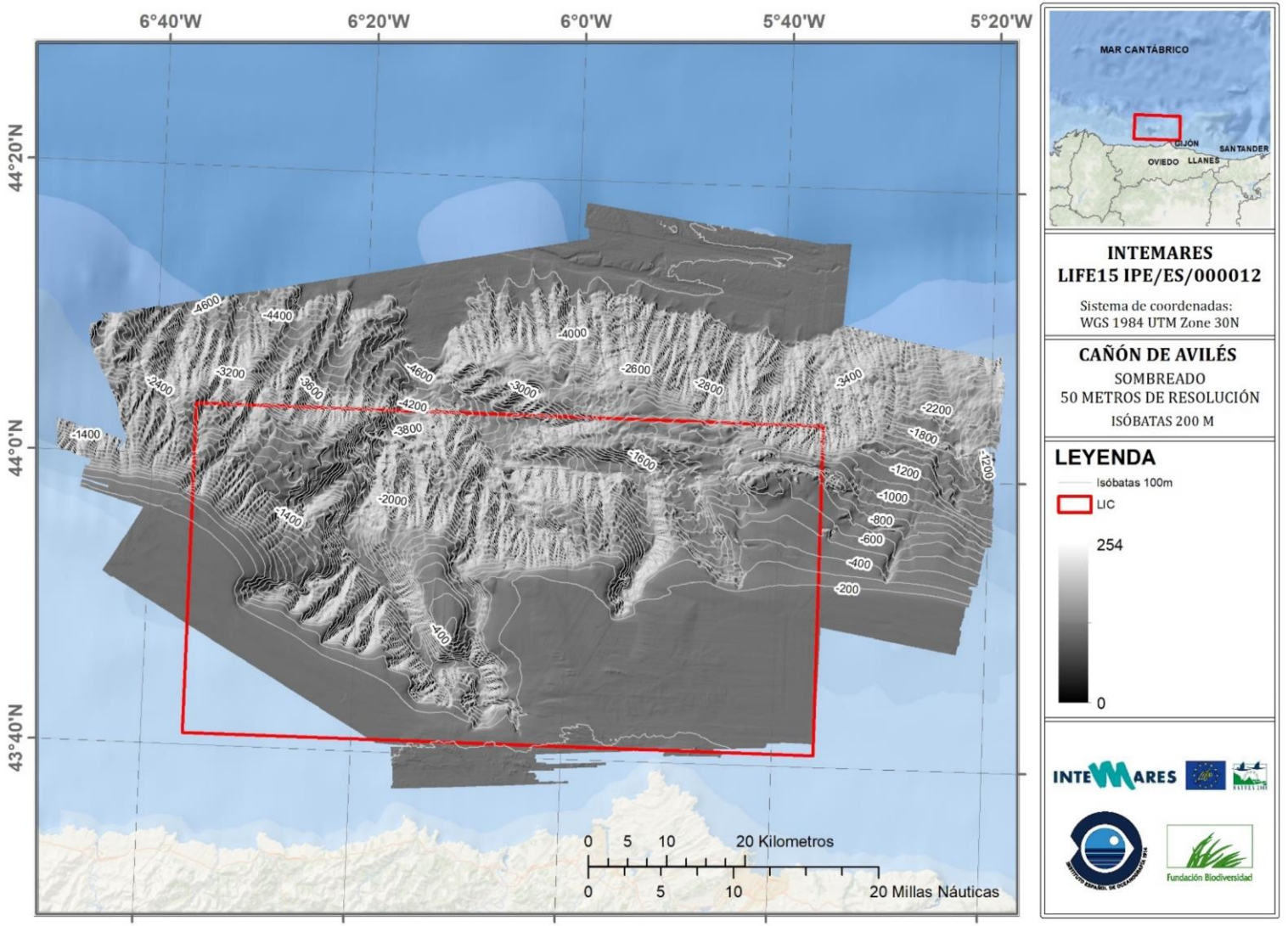
21. Tipo de sustrato 364

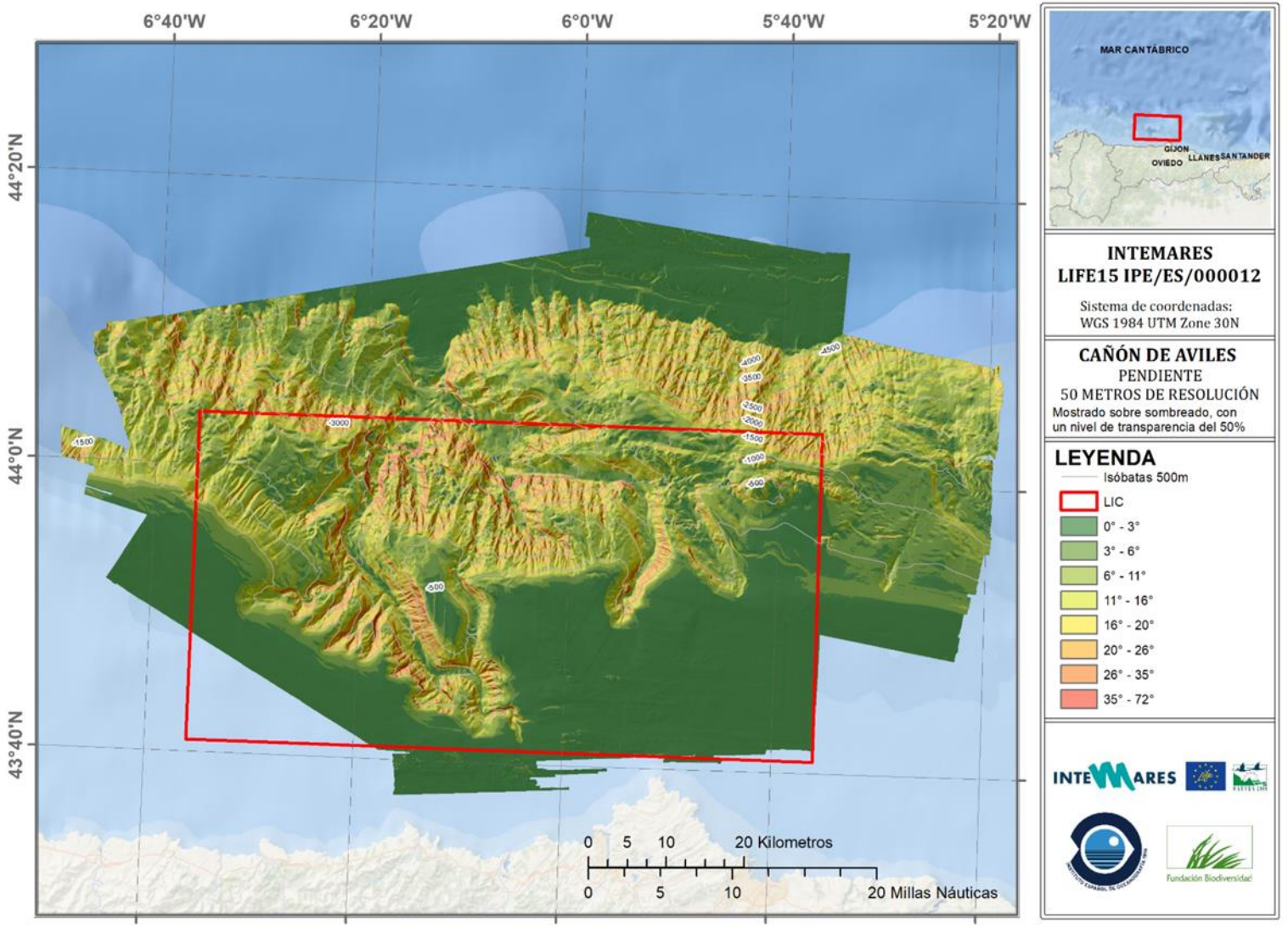
22. Geomorfología lineal 365

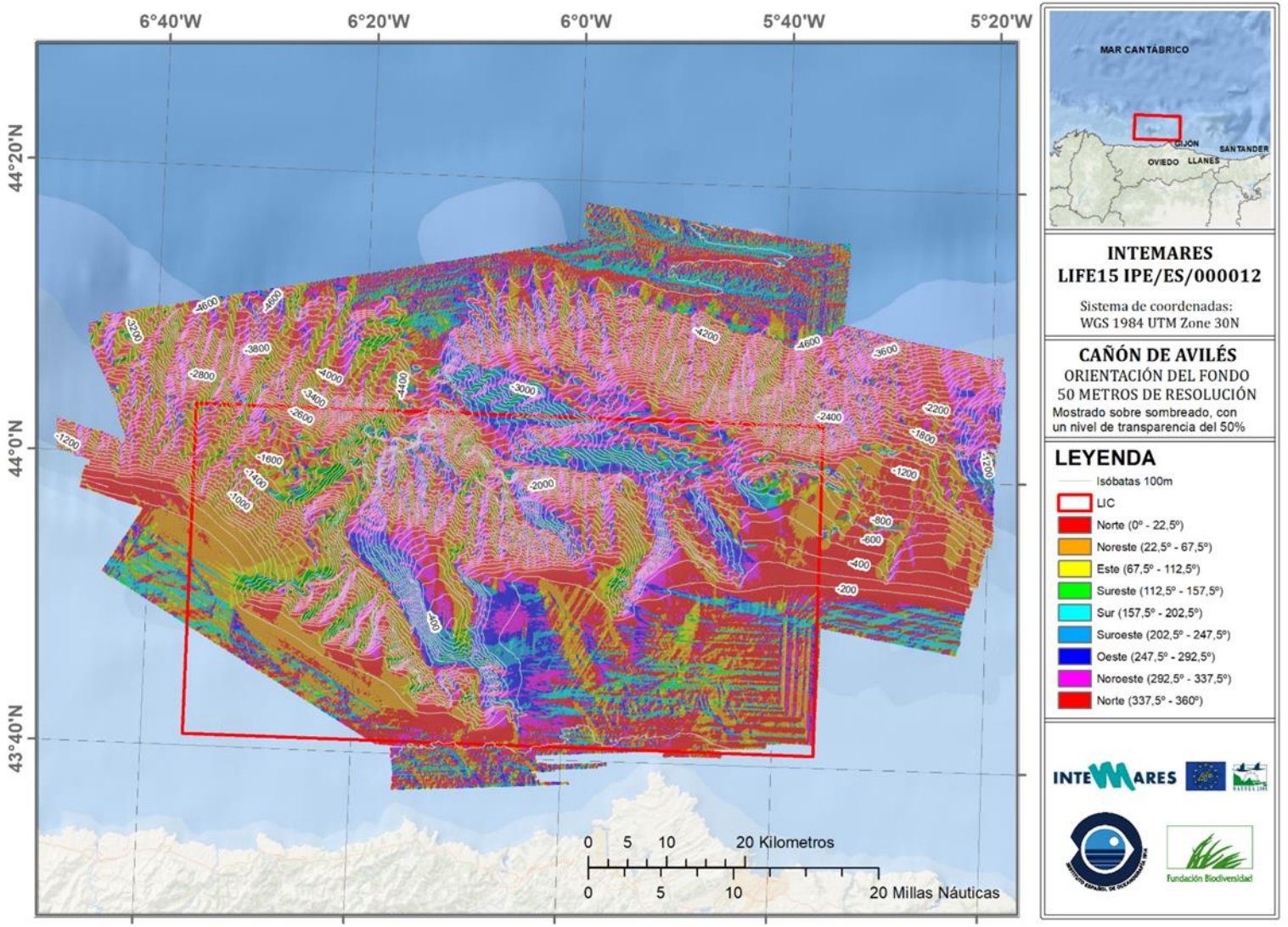
23. Geomorfología poligonal 366

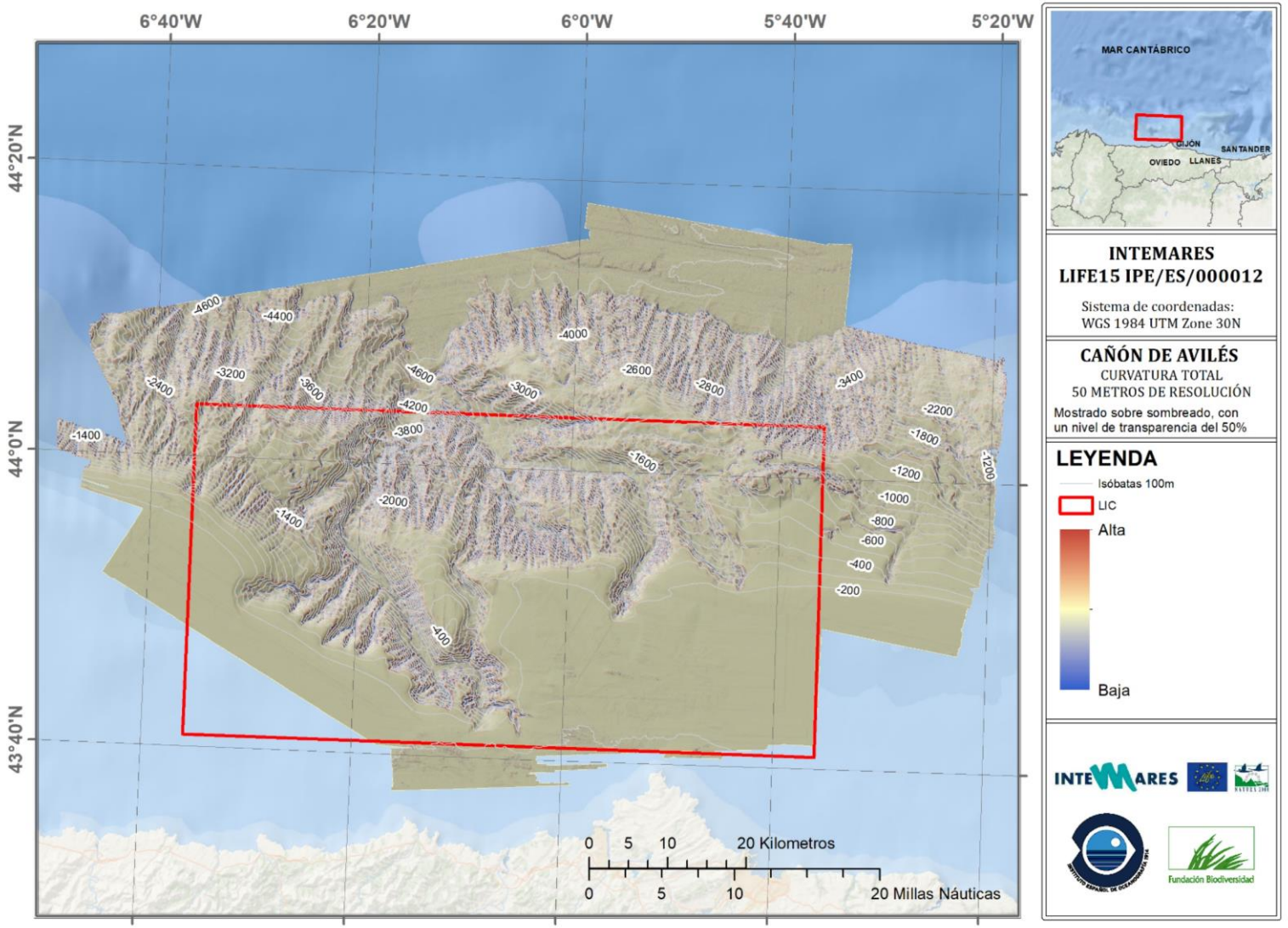
24. Interpretación geomorfológica 367

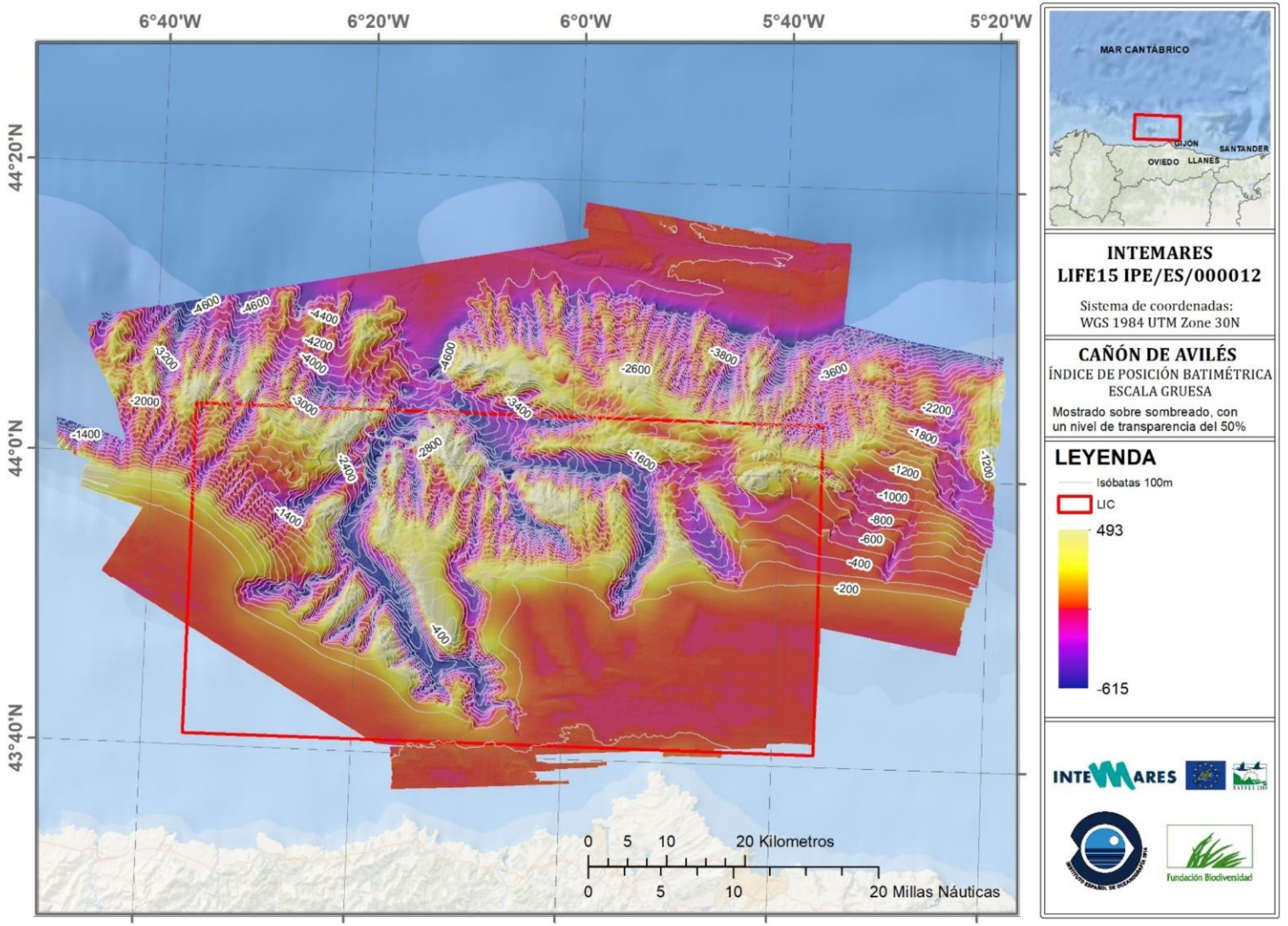

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
-4000
-3500
-3000
-2500
-2000
-1500
-1000
-500
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJON
OVIEDO
LLANES
SANTANDER
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILES
BATIMETRÍA
50 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 500m
LIC
-39,8m
-4798,2m
INTEMARES
Fundación Biodiversidad

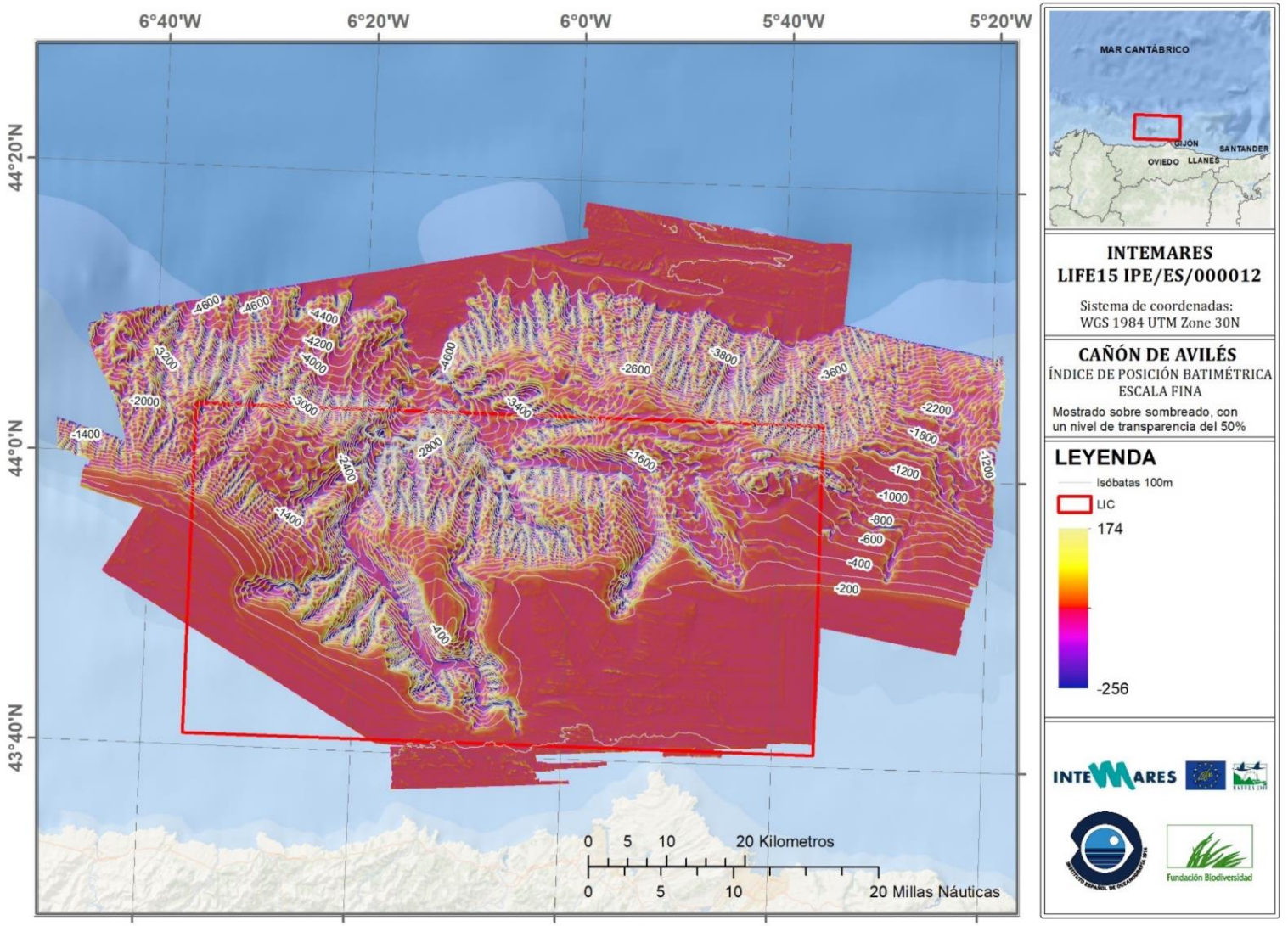

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
-4600
-4400
-4000
-3200
-2400
-2600
-2800
-3400
-3600
-3000
-4200
-3800
-1400
-1600
-2200
-1800
-1200
-2000
-1000
-800
-600
-400
-200
-100
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
SOMBREADO
50 METROS DE RESOLUCIÓN
ISÓBATAS 200 M
LEYENDA
Isóbatas 100m
LIC
254
0
INTEMARES
Fundación Biodiversidad

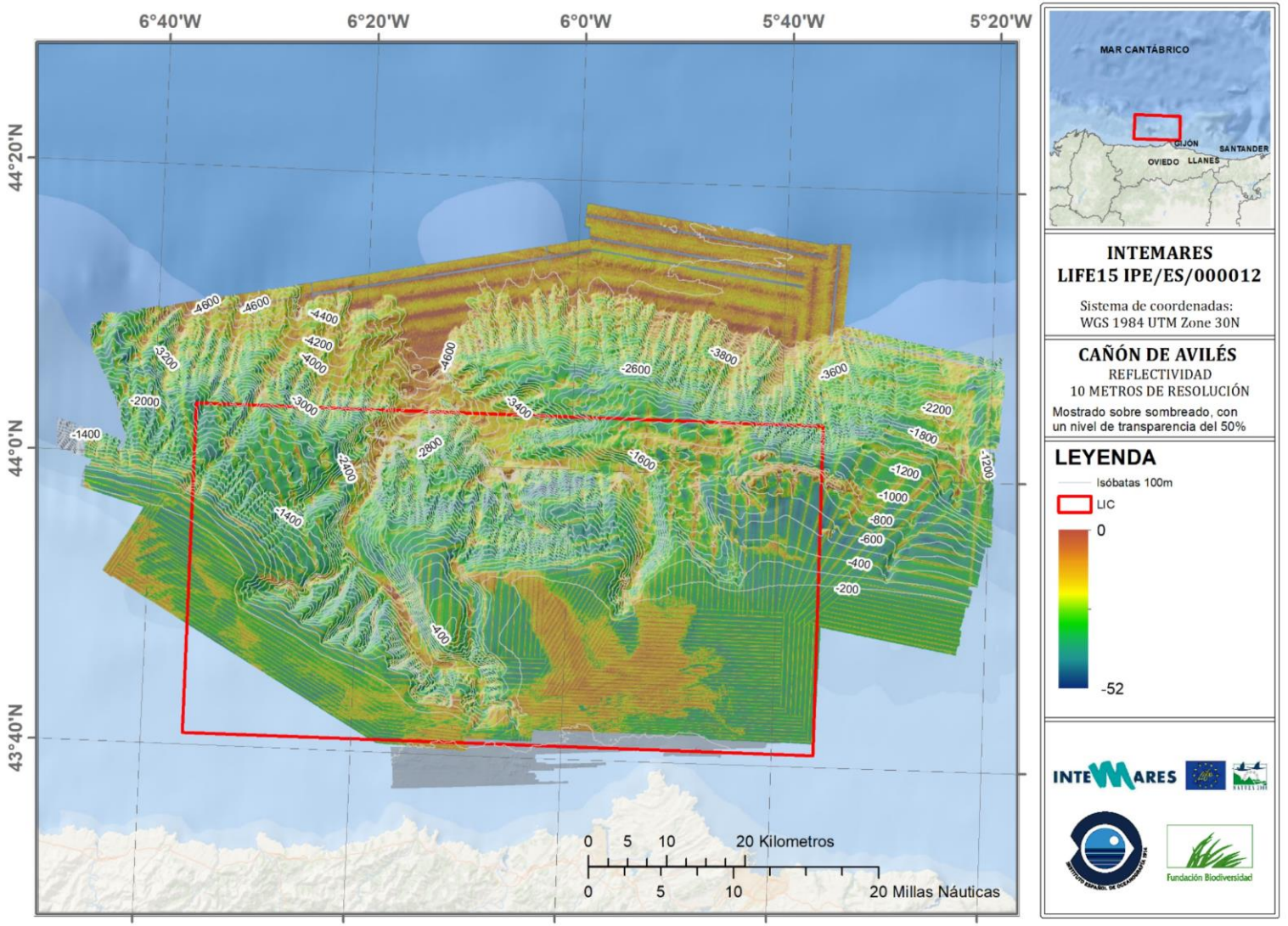

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJON
OVIEDO
LLANES
SANTANDER
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILES
PENDIENTE
50 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 500m
LIC
0° - 3°
3° - 6°
6° - 11°
11° - 16°
16° - 20°
20° - 26°
26° - 35°
35° - 72°
Fundación Biodiversidad

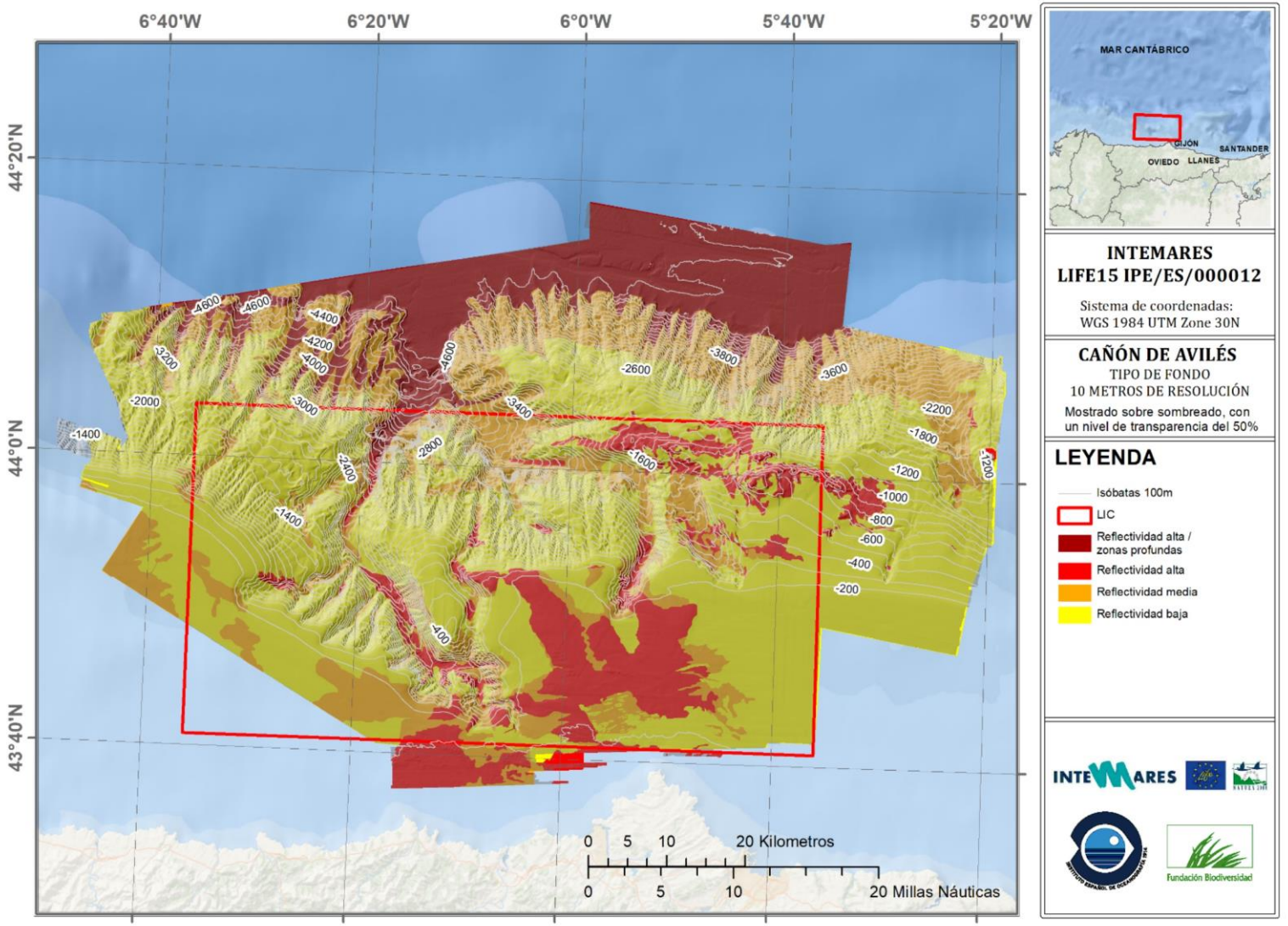

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
ORIENTACIÓN DEL FONDO
50 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 100m
LIC
Norte (0º - 22,5º)
Noreste (22,5º - 67,5º)
Este (67,5º - 112,5º)
Sureste (112,5º - 157,5º)
Sur (157,5º - 202,5º)
Suroeste (202,5º - 247,5º)
Oeste (247,5º - 292,5º)
Noroeste (292,5º - 337,5º)
Norte (337,5º - 360º)
INTEMARES
Fundación Biodiversidad

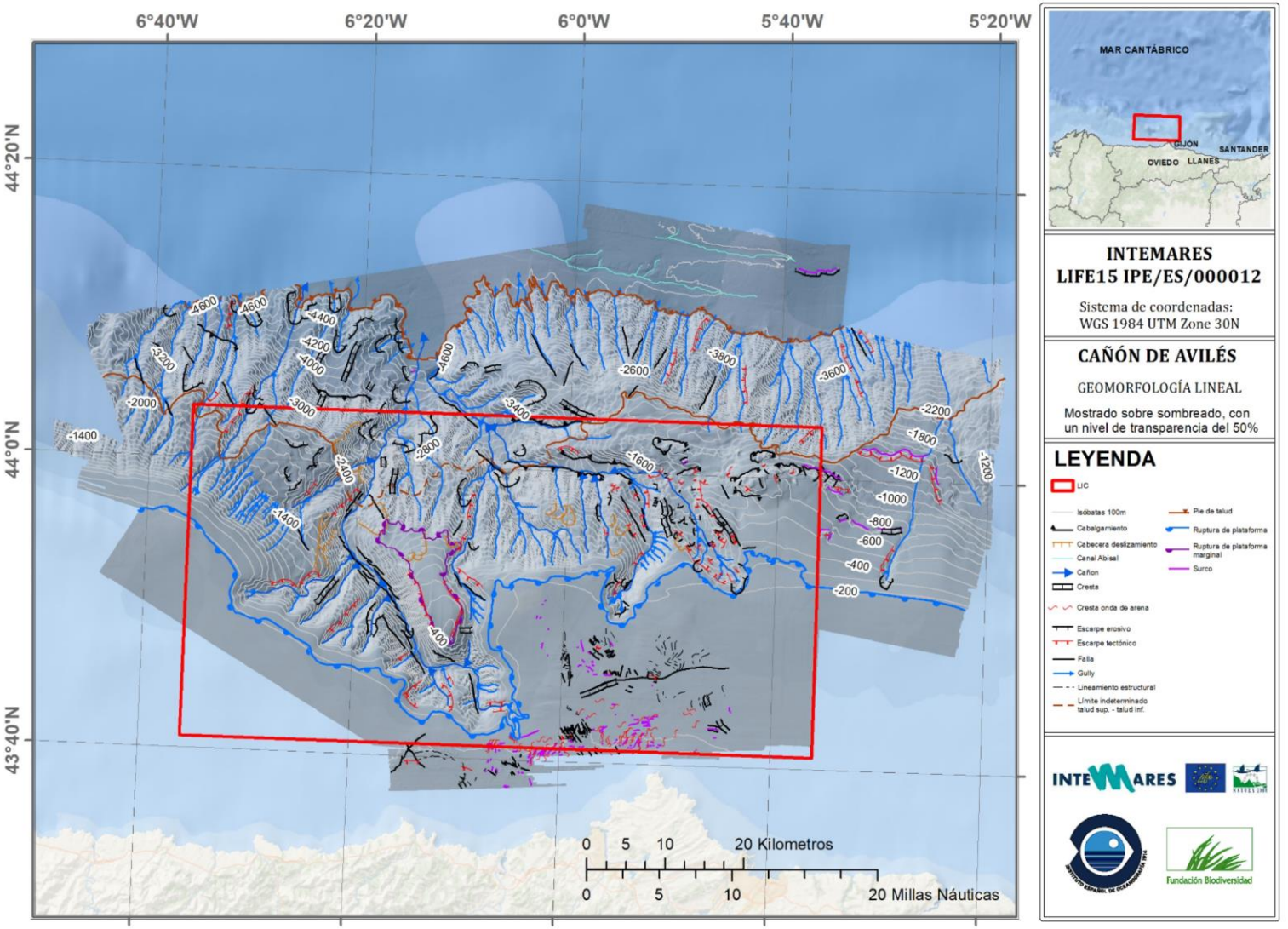

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
-4600
-4400
-4000
-3200
-2400
-3600
-4600
-3000
-2600
-2800
-3400
-4200
-3800
-2200
-1800
-1400
-1600
-1200
-1000
-2000
-1400
-800
-600
-400
-200
-400
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
CURVATURA TOTAL
50 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 100m
LIC
Alta
Baja
INTEMARES
Fundación Biodiversidad

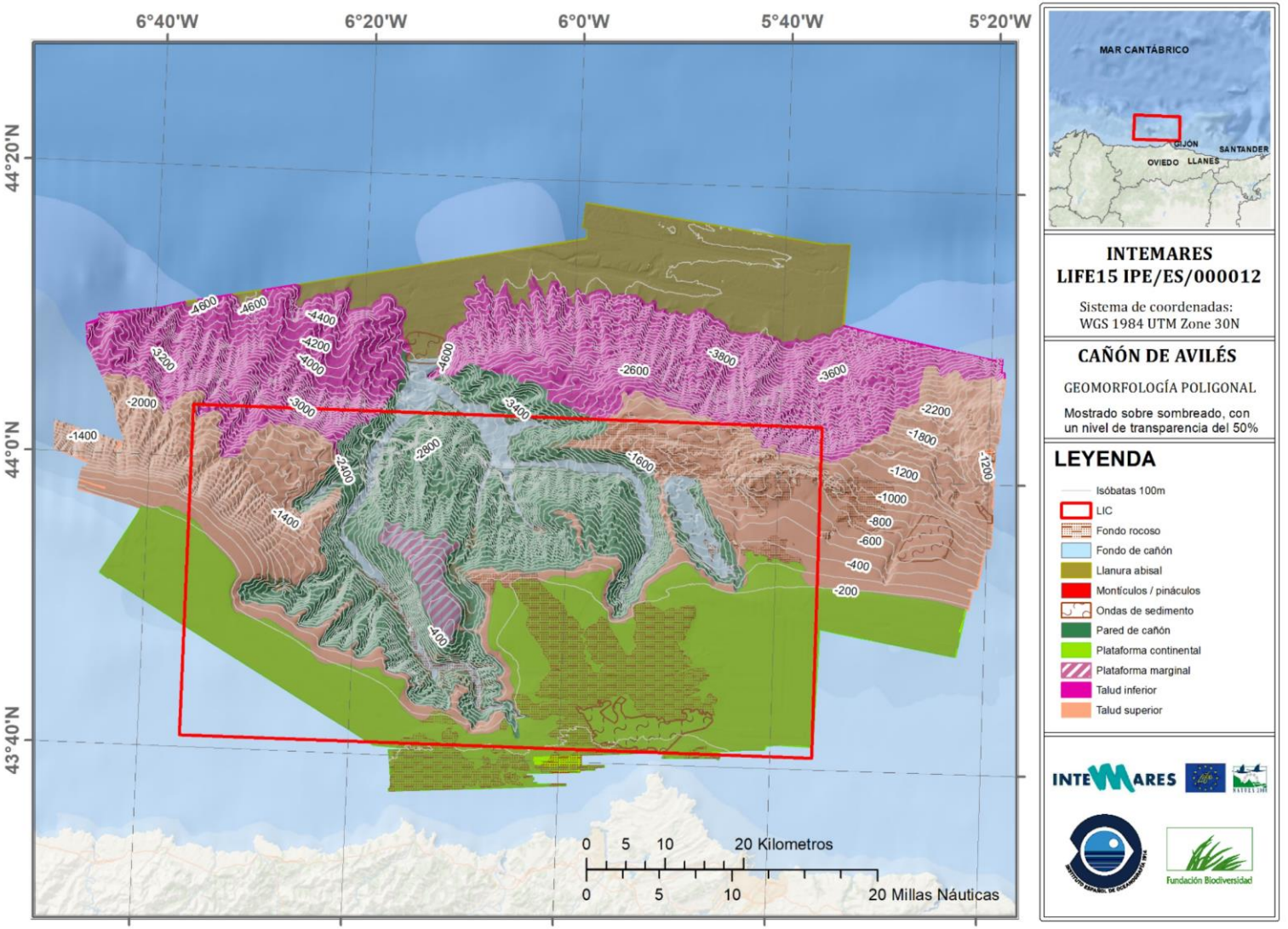

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
-4600
-4600
-4400
-4200
-4000
-4600
-3200
-2000
-3000
-1400
-2600
-3800
-3600
-3400
-2800
-2400
-1400
-1600
-2200
-1800
-1200
-1000
-800
-600
-400
-200
-100
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
ÍNDICE DE POSICIÓN BATIMÉTRICA
ESCALA GRUESA
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 100m
LIC
493
-615
Fundación Biodiversidad

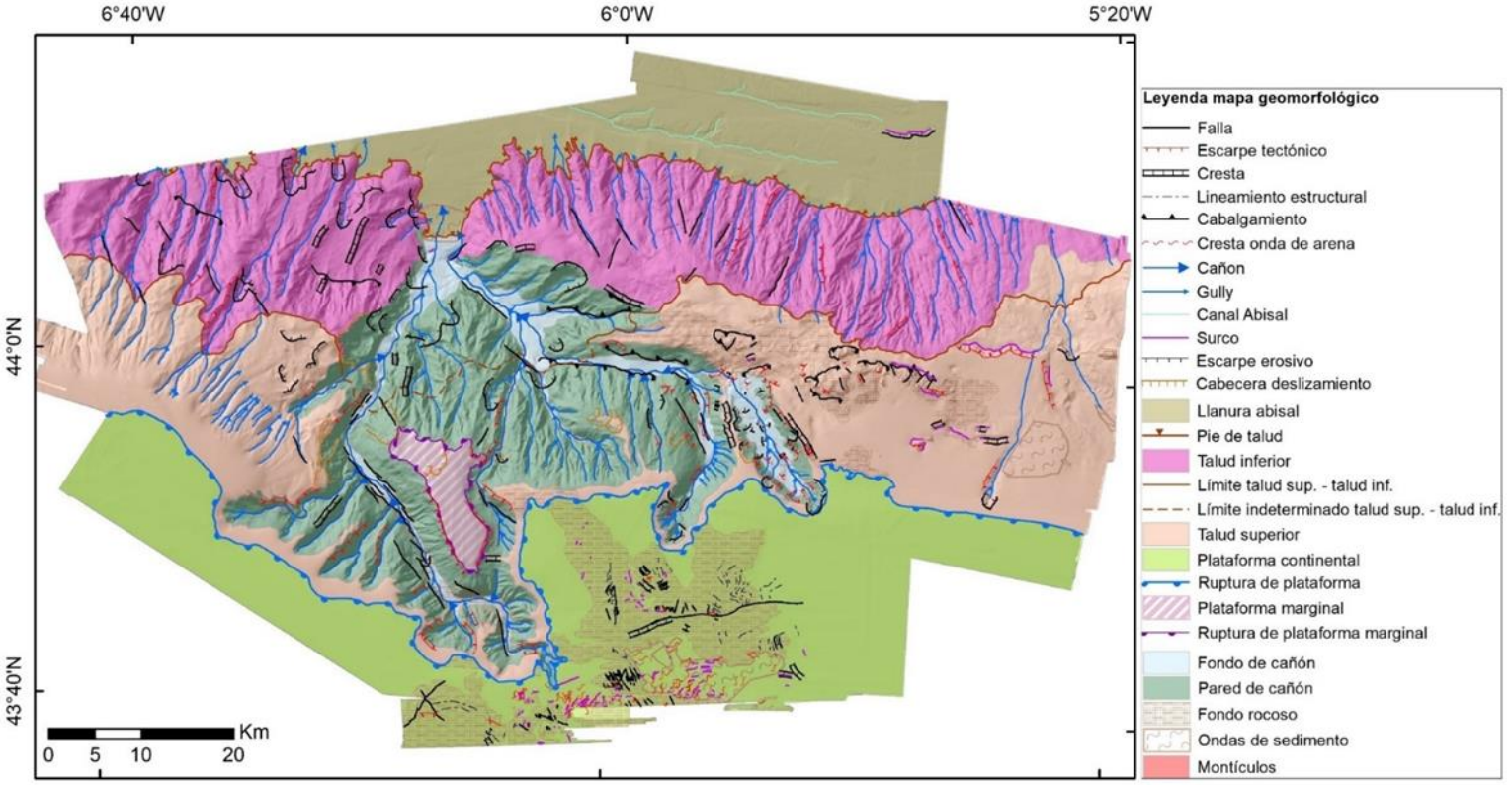

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
-4600
-4600
-4400
-4200
-4000
-4600
-3200
-2000
-3000
-1400
-2400
-1400
-2800
-3400
-2600
-3800
-3600
-2200
-1800
-1600
-1200
-1000
-800
-600
-400
-200
-100
-1200
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
ÍNDICE DE POSICIÓN BATIMÉTRICA
ESCALA FINA
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 100m
LIC
174
-256
INTEMARES
Fundación Biodiversidad

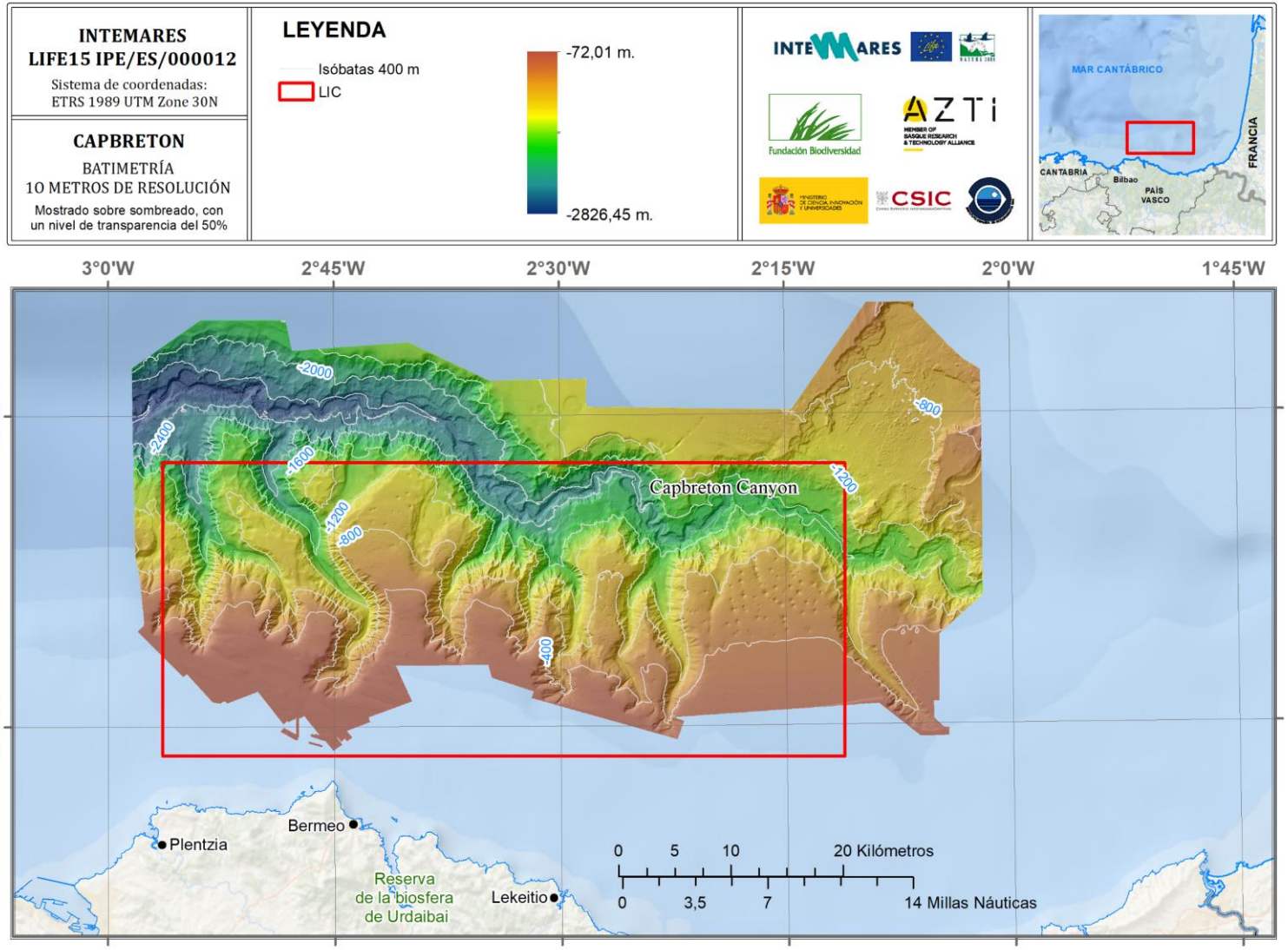

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
-4600
-4600
-4400
-4200
-4000
-4600
-2600
-3800
-3600
-3200
-2000
-3000
-3400
-2200
-1800
-1400
-2800
-1600
-2400
-1200
-1000
-1400
-800
-600
-400
-200
-100
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
REFLECTIVIDAD
10 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 100m
LIC
0
-52
Fundación Biodiversidad

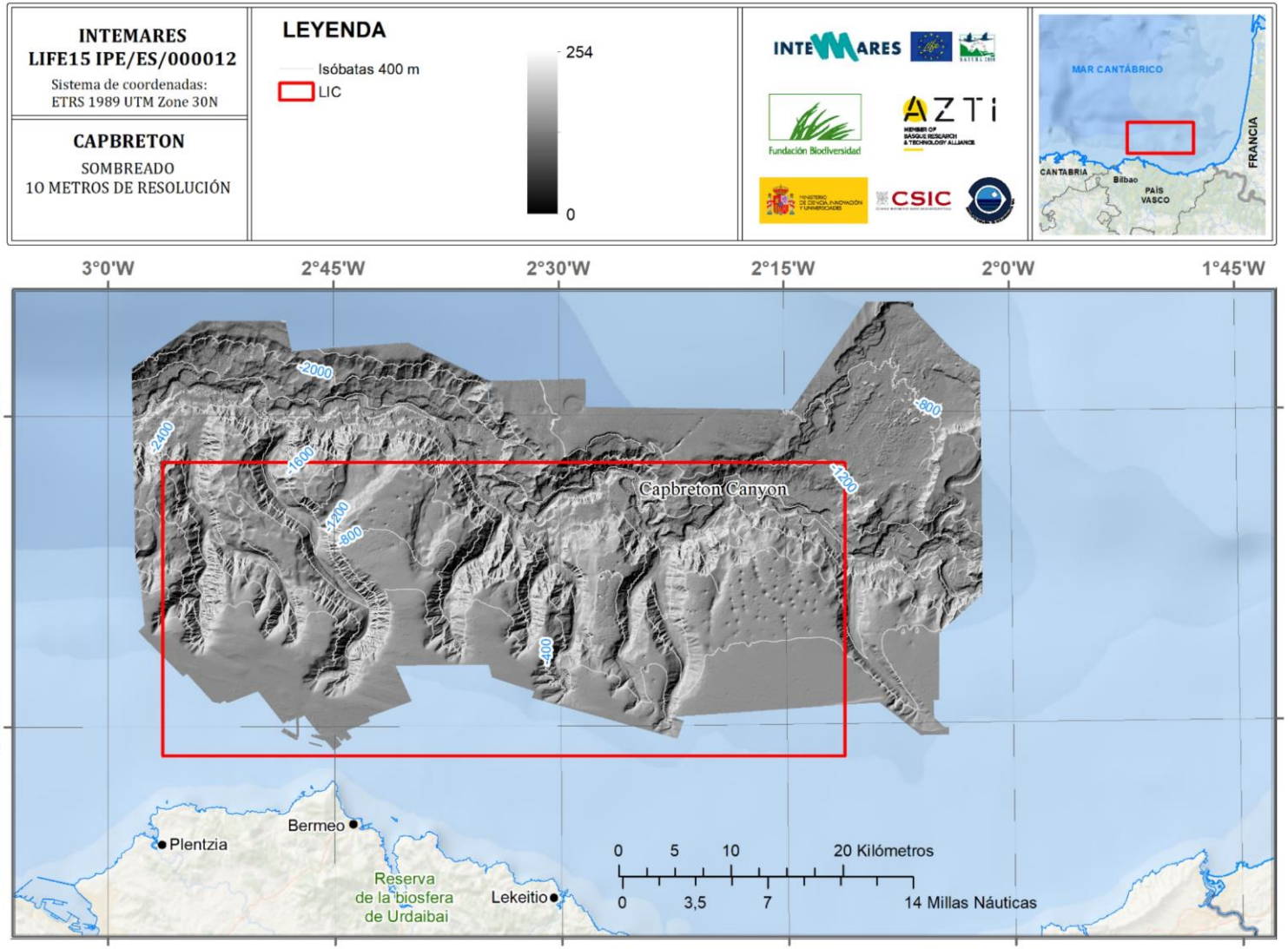

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
-1400
-1600
-4600
-4600
-4400
-4200
-4000
-3200
-2000
-3000
-2800
-2400
-1400
-4600
-3400
-2600
-3800
-3600
-2200
-1800
-1600
-1200
-1000
-800
-600
-400
-200
-100
-1200
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
TIPO DE FONDO
10 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 100m
LIC
Reflectividad alta /
zonas profundas
Reflectividad alta
Reflectividad media
Reflectividad baja
Fundación Biodiversidad

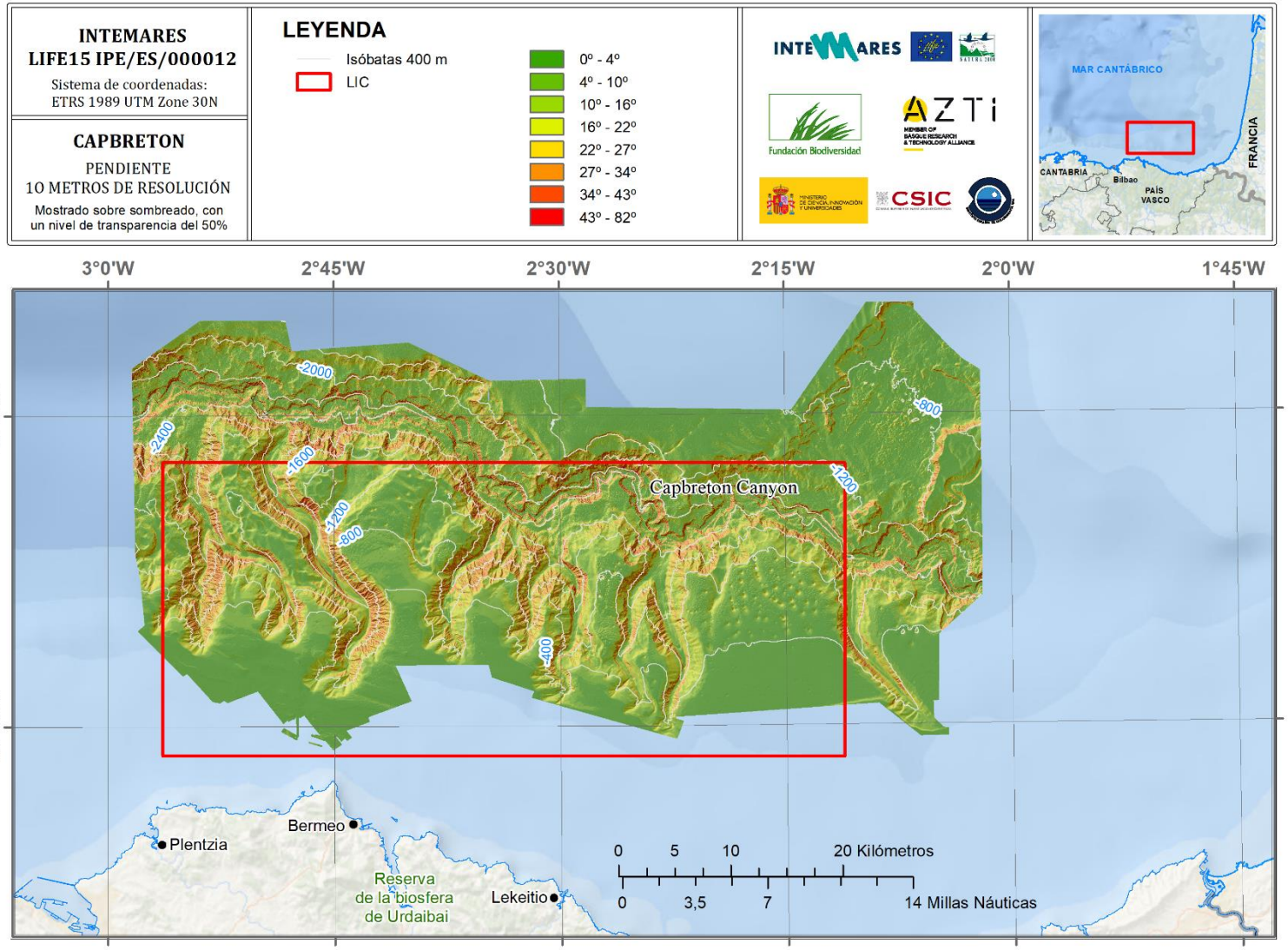

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
GEOMORFOLOGÍA LINEAL
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
LIC
Isóbatas 100m
Cabalgamiento
Cabecera deslizamiento
Canal Abisal
Cañon
Cresta
Cresta onda de arena
Escarpe erosivo
Escarpe tectónico
Falla
Gully
Lineamiento estructural
Límite indeterminado talud sup. - talud inf.
Pie de talud
Ruptura de plataforma
Ruptura de plataforma marginal
Surco
Fundación Biodiversidad

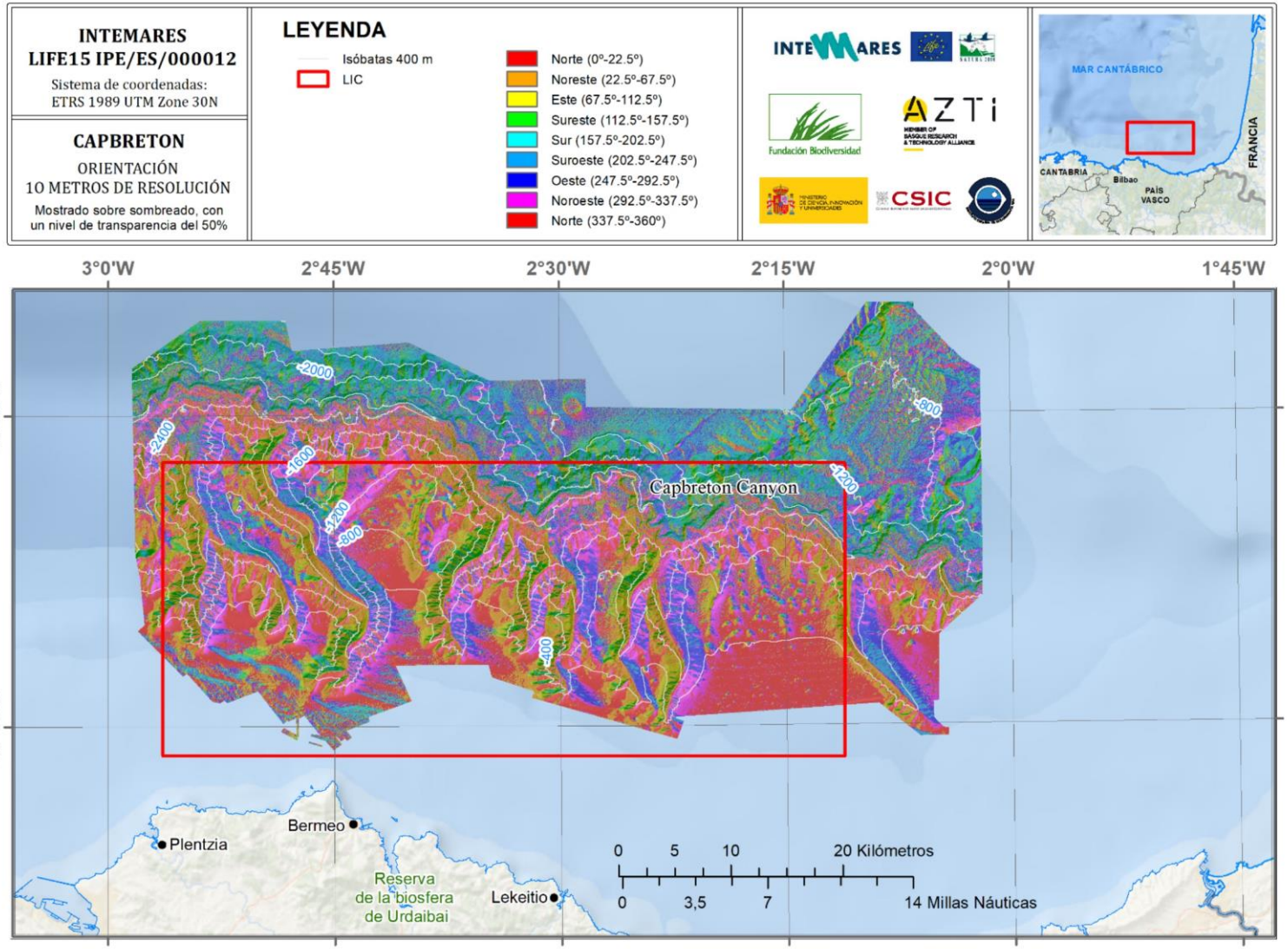

6°40'W
6°20'W
6°0'W
5°40'W
5°20'W
44°20'N
44°0'N
43°40'N
0 5 10 20 Kilometros
0 5 10 20 Millas Náuticas
MAR CANTÁBRICO
GIJÓN
SANTANDER
OVIEDO
LLANES
INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
WGS 1984 UTM Zone 30N
CAÑÓN DE AVILÉS
GEOMORFOLOGÍA POLIGONAL
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 100m
LIC
Fondo rocoso
Fondo de cañón
Llanura abisal
Montículos / pináculos
Ondas de sedimento
Pared de cañón
Plataforma continental
Plataforma marginal
Talud inferior
Talud superior
Fundación Biodiversidad

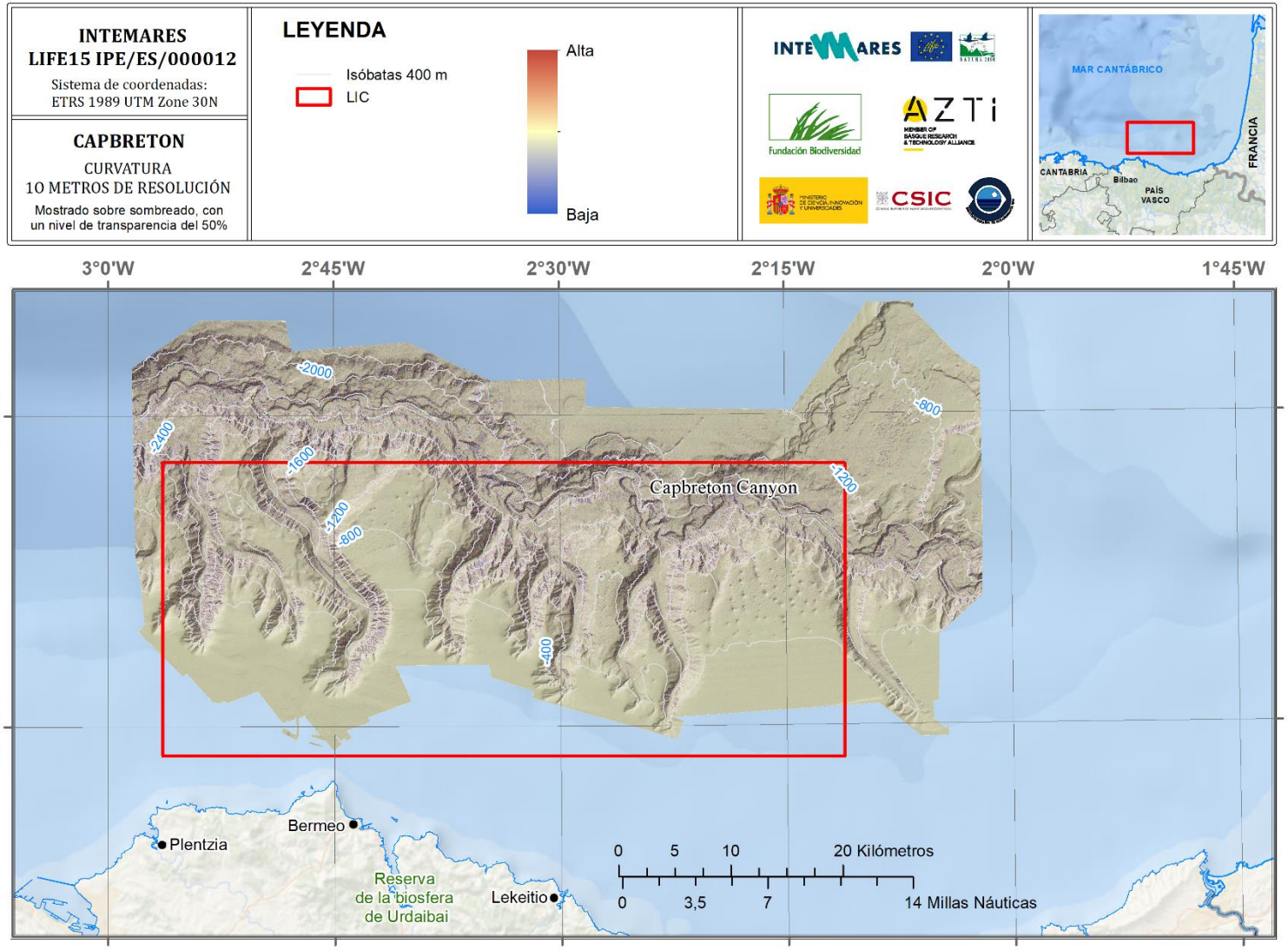

6°40'W
6°0'W
5°20'W
44°0'N
43°40'N
0 5 10 20
Km
Leyenda mapa geomorfológico
Falla
Escarpe tectónico
Cresta
Lineamiento estructural
Cabalgamiento
Cresta onda de arena
Cañon
Gully
Canal Abisal
Surco
Escarpe erosivo
Cabecera deslizamiento
Llanura abisal
Pie de talud
Talud inferior
Límite talud sup. - talud inf.
Límite indeterminado talud sup. - talud inf.
Talud superior
Plataforma continental
Ruptura de plataforma
Plataforma marginal
Ruptura de plataforma marginal
Fondo de cañón
Pared de cañón
Fondo rocoso
Ondas de sedimento
Montículos

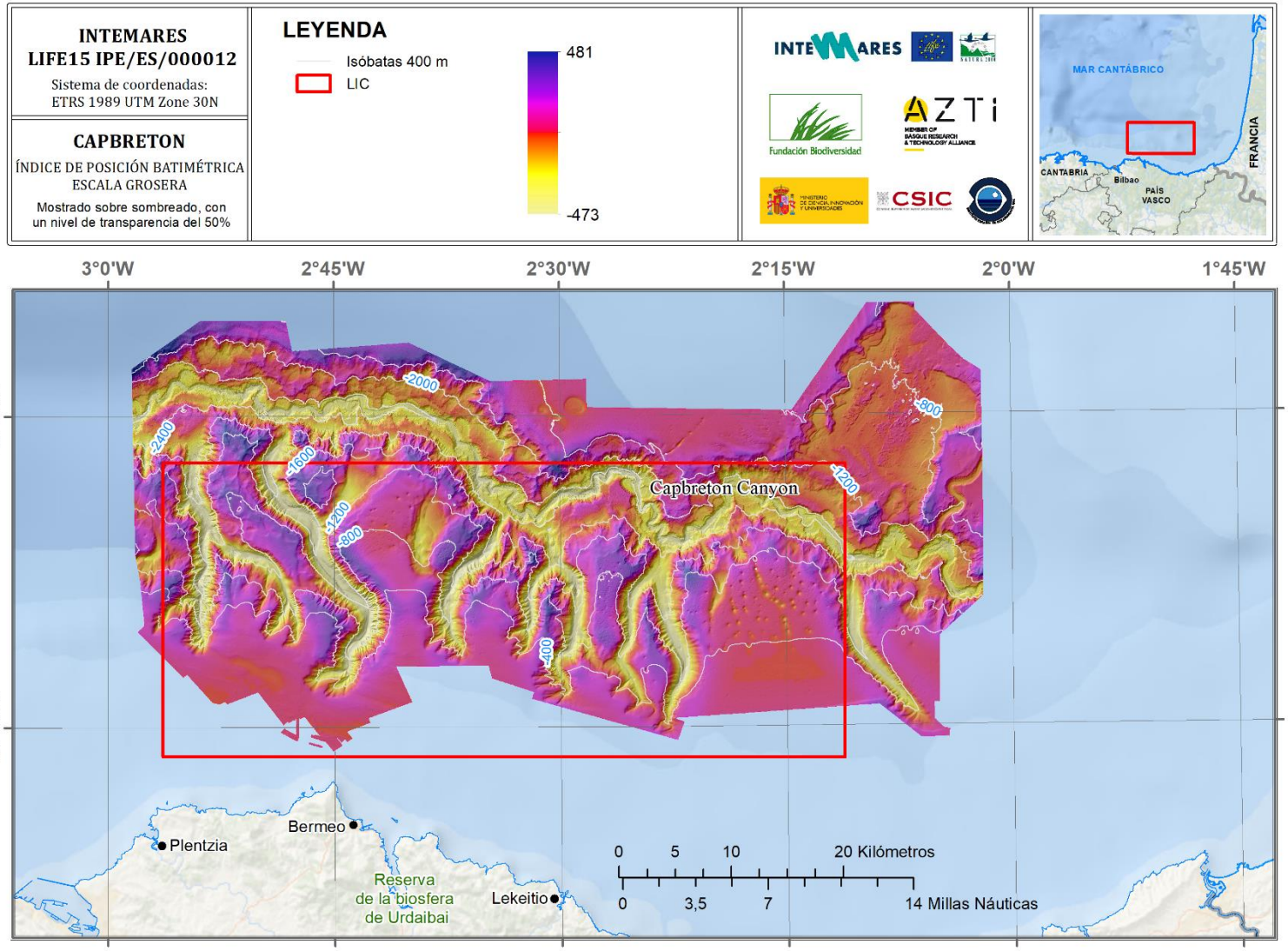

INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
BATIMETRÍA
10 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
-72,01 m.
-2826,45 m.
MAR CANTÁBRICO
FRANCIA
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas

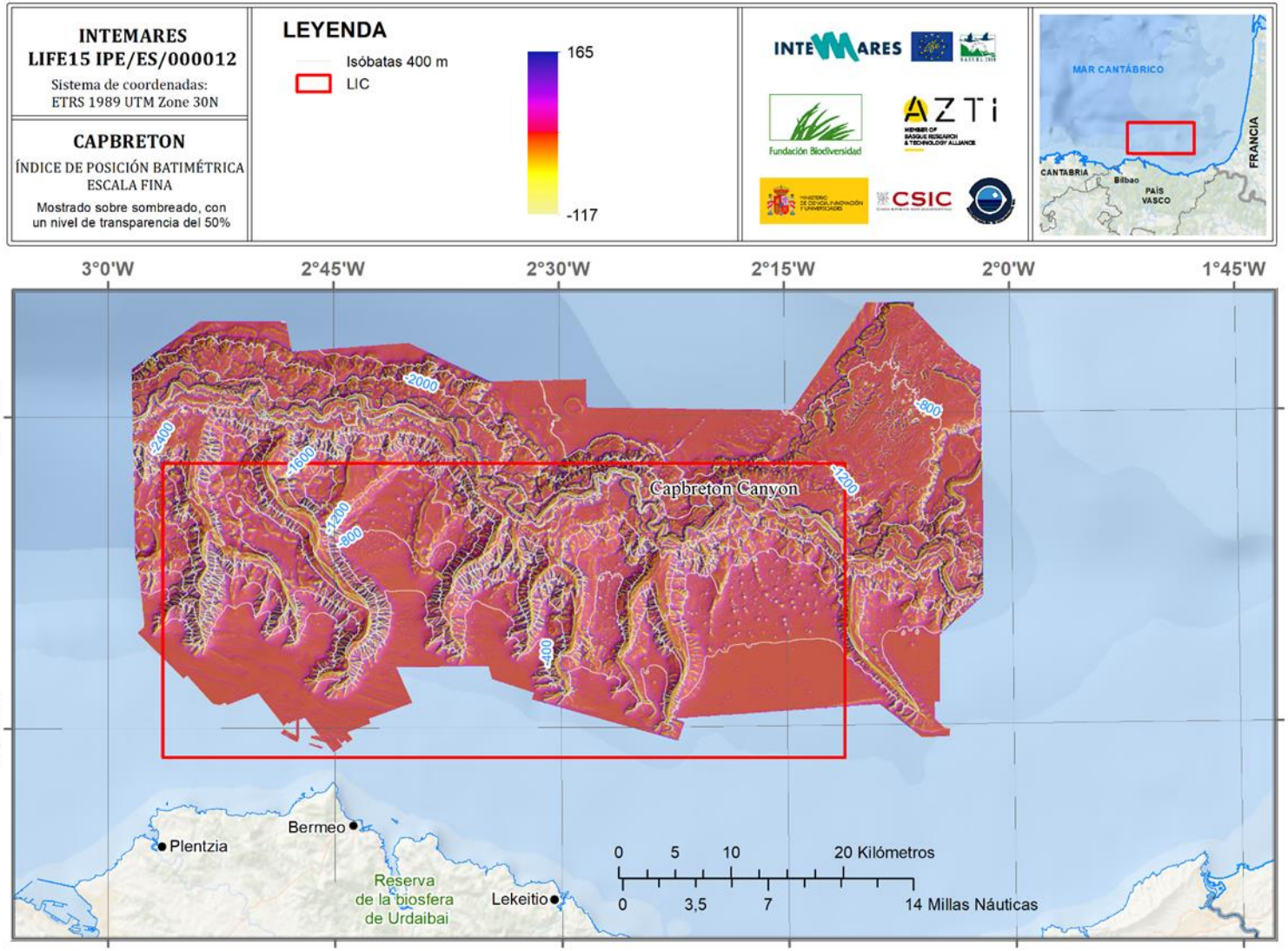

INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
SOMBREADO
10 METROS DE RESOLUCIÓN
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
254
0
MAR CANTÁBRICO
FRANCIA
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas

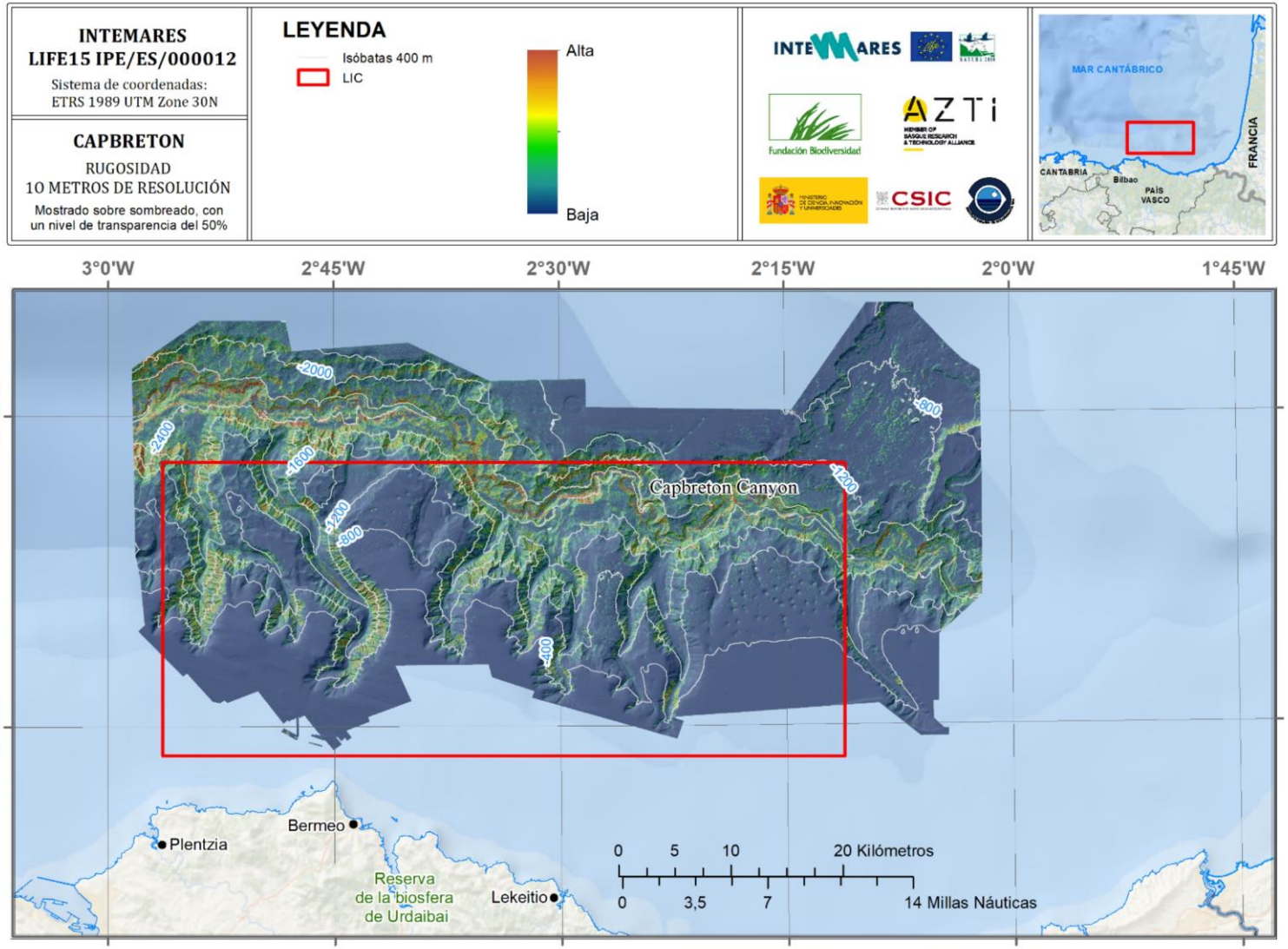

INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
PENDIENTE
10 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
0º - 4º
4º - 10º
10º - 16º
16º - 22º
22º - 27º
27º - 34º
34º - 43º
43º - 82º
INTEMARES
Fundación Biodiversidad
AZTI
CSIC
MAR CANTÁBRICO
FRANCIA
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas

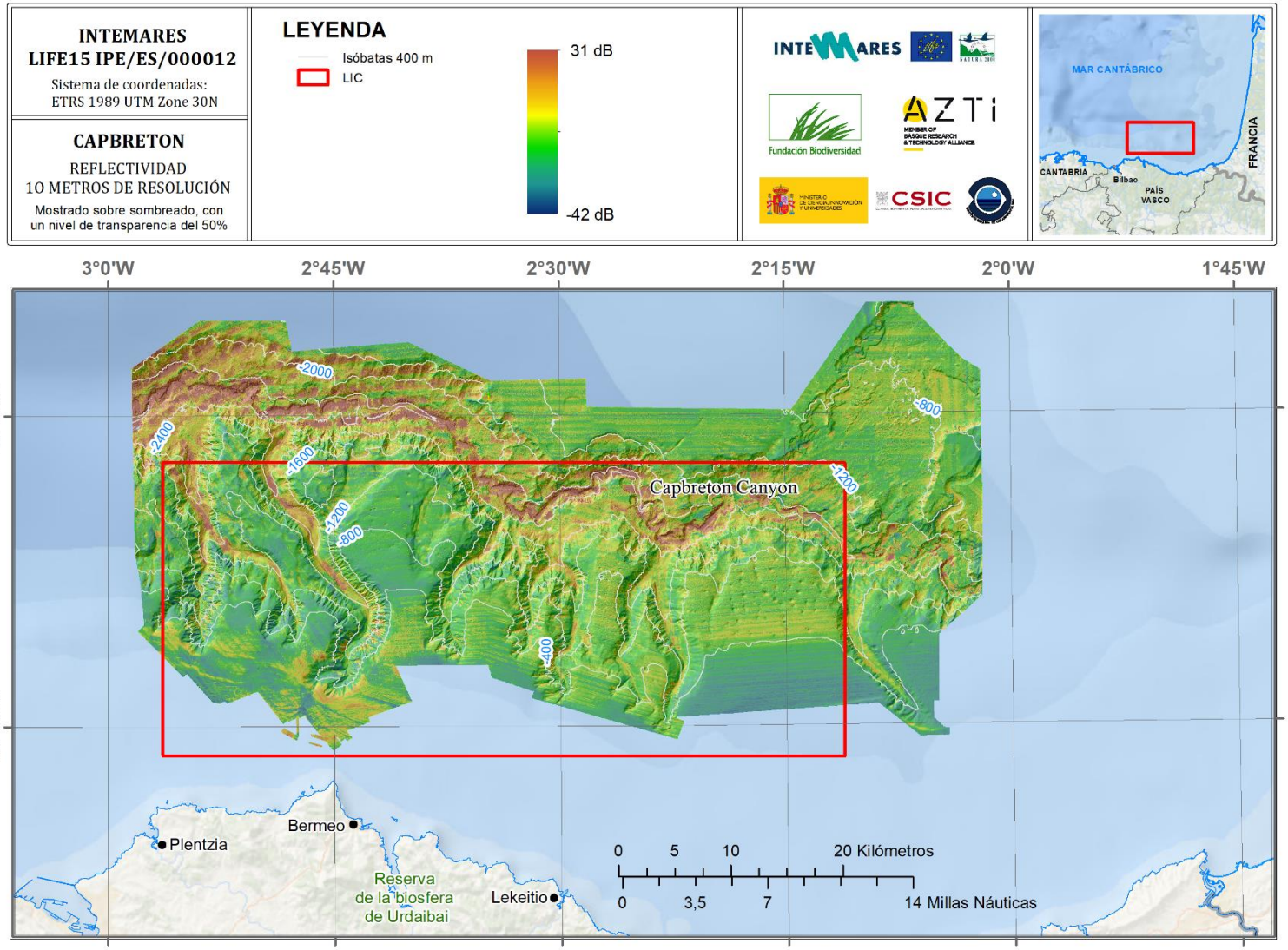

INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
ORIENTACIÓN
10 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
Norte (0º-22.5º)
Noreste (22.5º-67.5º)
Este (67.5º-112.5º)
Sureste (112.5º-157.5º)
Sur (157.5º-202.5º)
Suroeste (202.5º-247.5º)
Oeste (247.5º-292.5º)
Noroeste (292.5º-337.5º)
Norte (337.5º-360º)
Fundación Biodiversidad
CSIC
MAR CANTÁBRICO
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
FRANCIA
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas

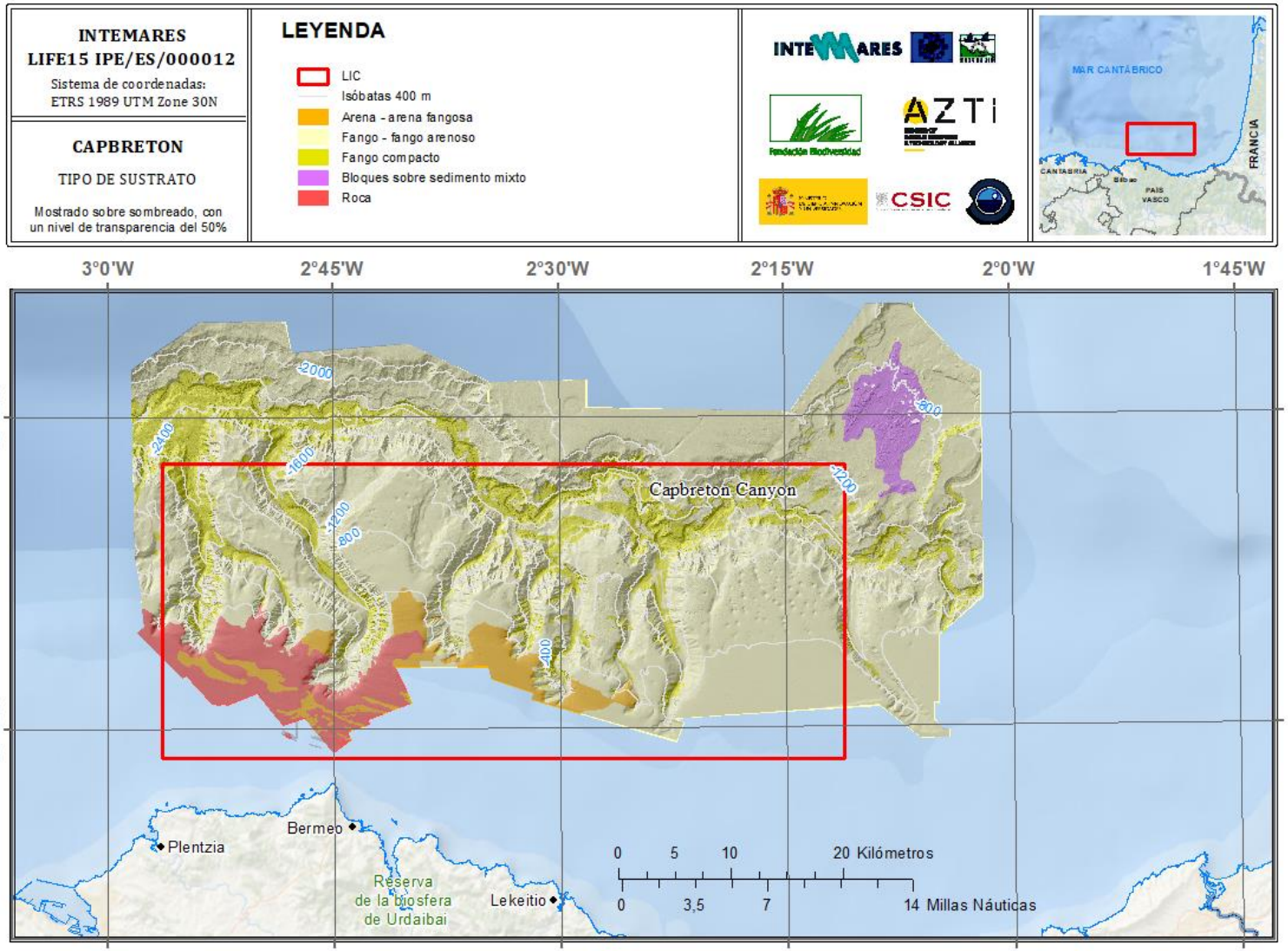

INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
CURVATURA
10 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
Alta
Baja
MAR CANTÁBRICO
FRANCIA
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas

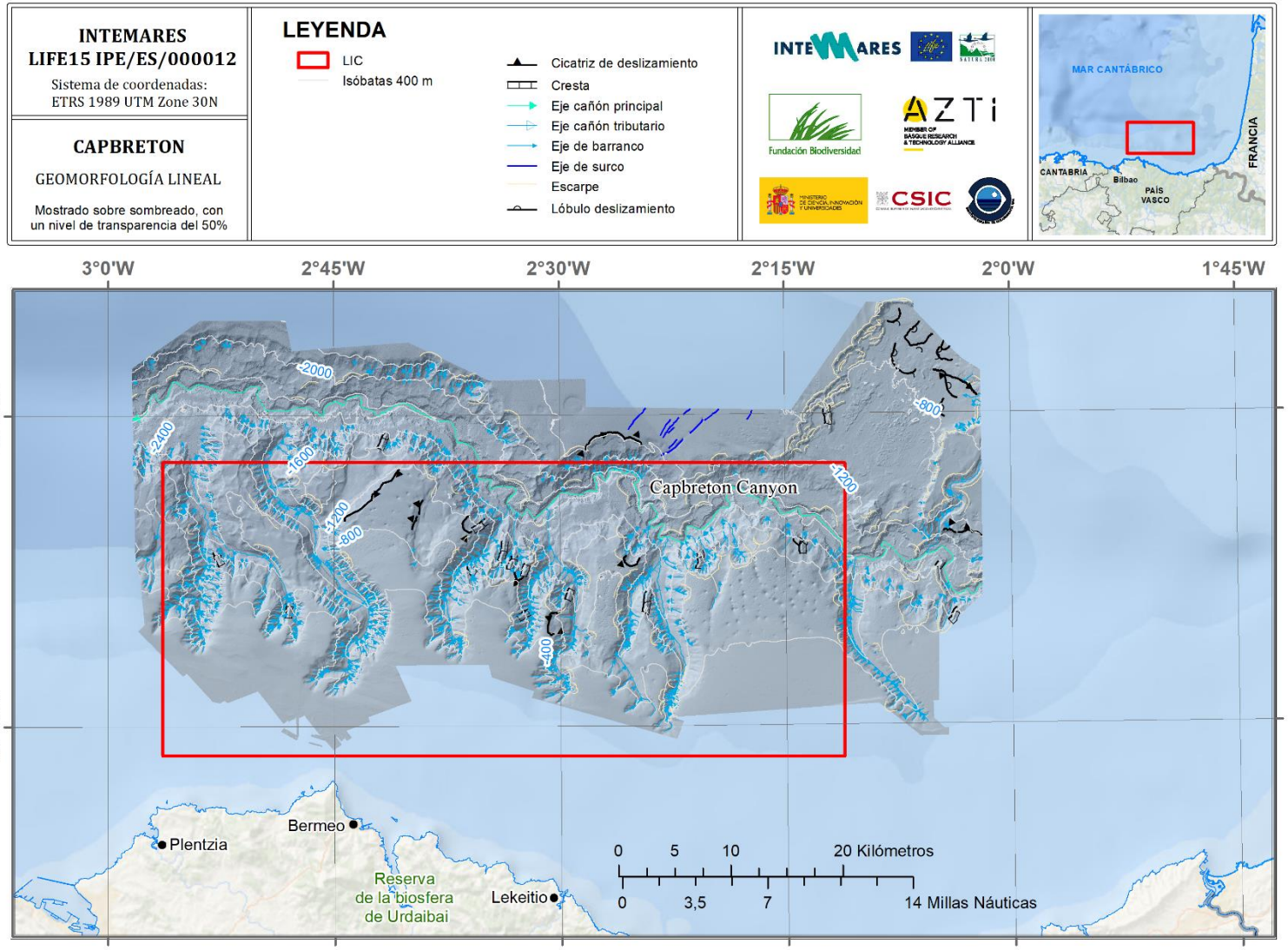

INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
ÍNDICE DE POSICIÓN BATIMÉTRICA
ESCALA GROSERA
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
481
-473
Fundación Biodiversidad
AZTI
CSIC
MAR CANTÁBRICO
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
FRANCIA
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva
de la biosfera
de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas

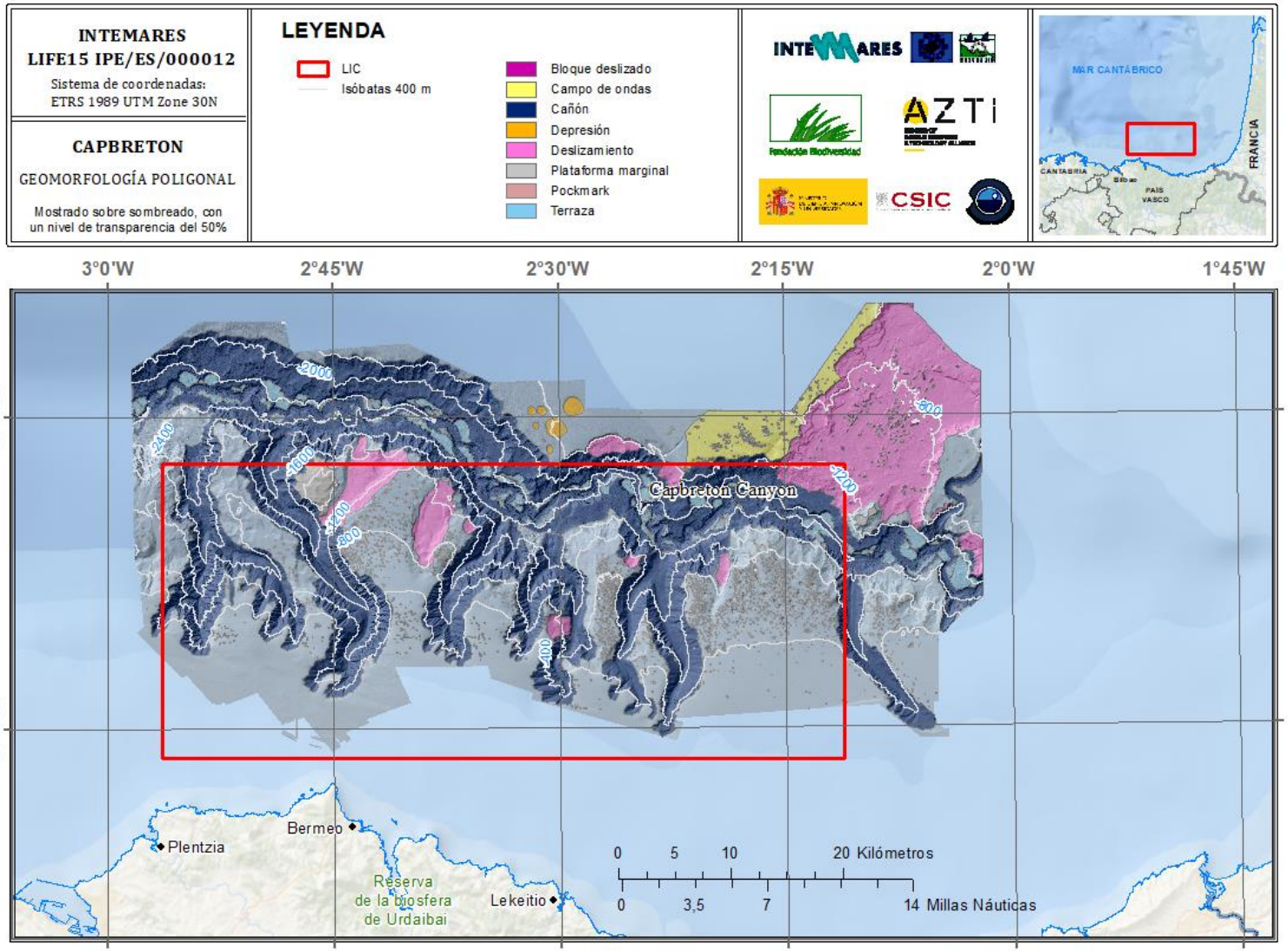

INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
ÍNDICE DE POSICIÓN BATIMÉTRICA
ESCALA FINA
Mostrado sobre sombreado, con
un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
165
-117
MAR CANTÁBRICO
FRANCIA
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS
VASCO
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva
de la biosfera
de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas

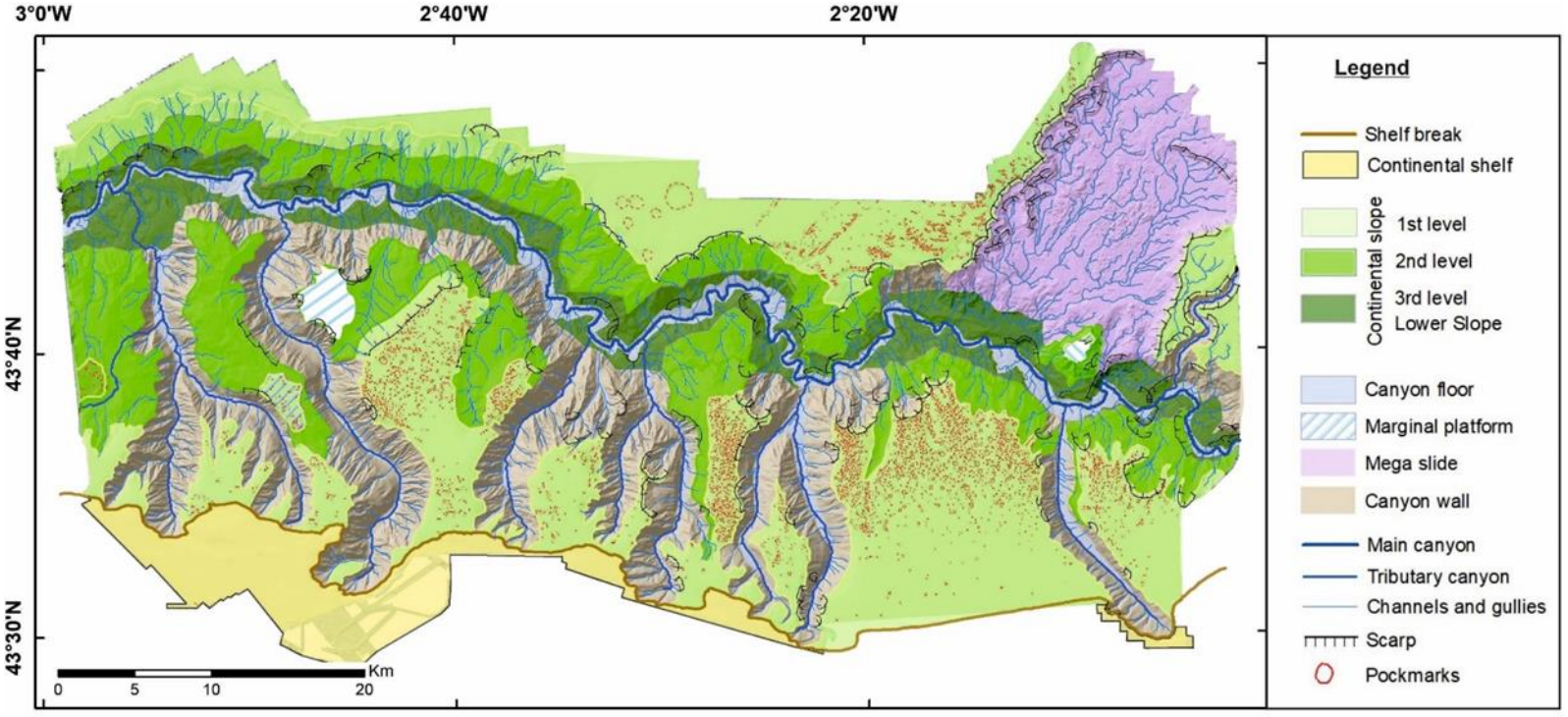

INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
RUGOSIDAD
10 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
Alta
Baja
MAR CANTÁBRICO
FRANCIA
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
-600
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas


INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
REFLECTIVIDAD
10 METROS DE RESOLUCIÓN
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
Isóbatas 400 m
LIC
31 dB
-42 dB
INTEMARES
Fundación Biodiversidad
AZTI
CSIC
MAR CANTÁBRICO
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
FRANCIA
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas


INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
TIPO DE SUSTRATO
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
LIC
Isóbatas 400 m
Arena - arena fangosa
Fango - fango arenoso
Fango compacto
Bloques sobre sedimento mixto
Roca
MAR CANTÁBRICO
FRANCIA
CANTABRIA
PAÍS VASCO
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
-600
-1200
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas


INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
GEOMORFOLOGÍA LINEAL
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
LIC
Isóbatas 400 m
Cicatriz de deslizamiento
Cresta
Eje cañón principal
Eje cañón tributario
Eje de barranco
Eje de surco
Escarpe
Lóbulo deslizamiento
Fundación Biodiversidad
AZTI
CSIC
MAR CANTÁBRICO
CANTABRIA
Bilbao
PAÍS VASCO
FRANCIA
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
-2000
-2400
-1600
-1200
-800
-400
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Reserva de la biosfera de Urdaibai
Lekeitio
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas


INTEMARES
LIFE15 IPE/ES/000012
Sistema de coordenadas:
ETRS 1989 UTM Zone 30N
CAPBRETON
GEOMORFOLOGÍA POLIGONAL
Mostrado sobre sombreado, con un nivel de transparencia del 50%
LEYENDA
LIC
Isóbatas 400 m
Bloque deslizado
Campo de ondas
Cañón
Depresión
Deslizamiento
Plataforma marginal
Pockmark
Terraza
MAR CANTÁBRICO
FRANCIA
CANTABRIA
PAÍS VASCO
3°0'W
2°45'W
2°30'W
2°15'W
2°0'W
1°45'W
43°45'N
43°30'N
Capbreton Canyon
Plentzia
Bermeo
Lekeitio
Reserva de la biosfera de Urdaibai
0 5 10 20 Kilómetros
0 3,5 7 14 Millas Náuticas


3°0'W
2°40'W
2°20'W
43°40'N
43°30'N
0
5
10
20
Km
Legend
Shelf break
Continental shelf
Continental slope
1st level
2nd level
3rd level
Lower Slope
Canyon floor
Marginal platform
Mega slide
Canyon wall
Main canyon
Tributary canyon
Channels and gullies
Scarp
Pockmarks