

Metodología cartográfica submarina orientada a la gestión y conservación del medio litoral: mapa de las comunidades bentónicas del frente litoral norte del estrecho de Gibraltar

J. C. García-Gómez¹, J. R. Corzo¹, C. M. López-Fe¹, J. E. Sánchez-Moyano¹, M. Corzo², J. Rey³, J. M. Guerra-García¹ e I. García-Asencio¹

¹ Laboratorio de Biología Marina. Departamento de Fisiología y Zoología. Facultad de Biología. Universidad de Sevilla. Avda. Reina Mercedes, 6. E-41012 Sevilla, España. Correo electrónico: jcgarcia@us.es

² Servicio de Información y Evaluación Ambiental. Consejería de Medio Ambiente. Junta de Andalucía. Avda. Manuel Siurot, 50. E-41013 Sevilla, España

³ Esgemar. Estación Marítima, local 4B. Puerto de Málaga. E-29001 Málaga, España

Recibido en enero de 2003. Aceptado en diciembre de 2003.

RESUMEN

La cartografía de las comunidades bentónicas es esencial, actualmente, para promover actuaciones eficientes de uso, gestión y conservación de las zonas litorales, especialmente en el ámbito de grandes espacios litorales protegidos. En cada uno de éstos, la cartografía resulta determinante para la elaboración de un mapa de zonificación de usos, condicionado, en gran medida, por los distintos valores ecológicos que puedan asignarse a las diferentes comunidades bentónicas establecidas y a sus distribuciones geográficas locales.

La metodología utilizada en la elaboración del mapa de las comunidades bentónicas del estrecho de Gibraltar (en el intervalo batimétrico 0-30 m y de 40 km de extensión litoral aproximada), dada la complejidad que reviste este tipo de objetivos, supone una aproximación a la cartografía de la biota sésil sumergida, en tramos litorales amplios contenidos en áreas protegidas. Se han combinado, mediante superposición de información, datos físicos de batimetría y tipos de fondo, obtenidos mediante técnicas acústicas y convenientemente cartografiados, con datos biológicos de las comunidades bentónicas, obtenidos en campaña intensiva de buceo científico (con la toma de imágenes en sustrato duro, para su ulterior análisis) y mediante dragado (con registros de granulometría y fauna endobentónica en sustrato blando). La información ha sido georreferenciada adecuadamente para su introducción, como capas independientes, en un sistema de información geográfica (SIG).

Palabras clave: Litoral, espacios protegidos, cartografía, comunidades bentónicas, estrecho de Gibraltar.

ABSTRACT

Submarine cartographic methodology for managing and conserving littoral areas: Mapping the benthic communities of the northern coast of the Straits of Gibraltar

The cartography of benthic communities is, today, essential to promoting adequate strategies for the use, management and conservation of littoral areas, especially if they are large protected zones. In each zone, cartography is necessary to elaborate a management zoning map, depending on the ecological value of the different benthic communities established and on the local geographical distribution.

The methodology used in the elaboration of a map including the benthic communities of the Straits of Gibraltar (0-30 m depth; 40 km of littoral extension), in spite of the complexity of these kinds of objectives, represents an approach to the cartography of the submarine sessile biota of large littoral zones of protected areas. The present study combines physical data (bathymetry and type of substrate), collected using acoustic techniques, and biological data (benthic communities), collected during an intensive sampling programme using scuba (hard bottom: image analysis) and dredging (soft bottom: granulometry and benthic fauna). The information has been geotagged to be inserted, as different layers, into a Geographic Information System (GIS).

Keywords: Littoral, protected areas, benthic communities cartography, Straits of Gibraltar.

INTRODUCCIÓN

La metodología aquí implementada, relacionada con el levantamiento cartográfico de comunidades bentónicas, tiene la particularidad de combinar cartografía batimétrica, y de tipos de fondos, con información georreferenciada relativa a las comunidades bentónicas instaladas sobre sustratos duro (macrofitobentos y macrozoobentos sésil) y blando (macrofauna), con la finalidad de incorporarlas a un SIG (sistema de información geográfica) y propiciar, de este modo, un nivel mejor de consulta, manejo y precisión en la localización geográfica.

Actualmente, las nuevas tecnologías permiten que la información estadística convencional esté cada vez más ligada a criterios espacio-temporales más rigurosos y precisos (Moreira y Fernández-Palacios, 1998). En este ámbito, los nuevos SIG permiten gestionar y analizar la información espacial; se trata de sofisticadas herramientas multipropósito, con aplicaciones tan variadas como la planificación urbana, la gestión catastral, la ordenación y planificación del territorio, la gestión medioambiental y otros cometidos.

Un SIG es un sistema de información diseñado para trabajar con datos georreferenciados mediante coordenadas espaciales o geográficas (Star, 1990), es decir, con información geográfica. En un SIG se almacena información cartográfica, con lo que es posible conocer la localización exacta de cada elemento en el espacio y con respecto a otros elementos, e información alfanumérica, es decir, datos sobre las características o atributos de cada elemento geográfico. Ambos tipos de información están relacionados entre sí, de manera que a cada uno de los objetos espaciales del mapa digital le corresponde un registro en la base de datos. El SIG organiza la información en capas correspondientes a los diferentes aspectos del espacio que interesa estudiar, por ejemplo, relieve, litología, suelos, ríos, carreteras y otros ámbitos (Bosque, 1992; Gutiérrez

y Gould, 1994; Ministerio de Medio Ambiente, 1998; Calvín, 1998; Lenton, Fa y Pérez del Val, 2000; Durand *et al.*, 2002). La gran ventaja que proporciona esta herramienta es que puede relacionar las distintas capas de información entre sí, proporcionando nuevas posibilidades para capturar información y elaborar mapas temáticos superponibles. En oceanografía, el SIG se ha utilizado para resolver cuestiones medioambientales, tanto en las costas como en mar abierto (Wright y Bartlett, 1999; Urbanski y Szymelfenig, 2003).

Los métodos desarrollados en la ecología de campo se basan en el estudio del paisaje como un mosaico, donde cada mancha corresponde a una categoría diferente. Las comunidades bentónicas marinas, al igual que el paisaje terrestre, pueden observarse como un mosaico (Garrabou, 1997). La estructura y la dinámica de las comunidades se pueden analizar a través de las características de cada mancha. El estudio de la estructura de la comunidad necesita recopilar las especies presentes y la abundancia de las mismas, además de las características físicas de la zona, como la batimetría y los tipos de fondo (Kostylev *et al.*, 2001). Podemos conocer la dinámica de las comunidades mediante el levantamiento sistemático de capas de información en el tiempo.

Los SIG se han utilizado en el ámbito marino para diversos propósitos, particularmente en investigaciones pesqueras (Caddy y Carocci, 1999; Maury y Gascuel, 1999; Bian, 2000), gestión de recursos marinos en general (Stanbury y Starr, 1999), estudio de zonas de acuicultura (Congleton Jr. *et al.*, 1999), instalación de arrecifes artificiales (Wright *et al.*, 1998) y estudios de medio ambiente, tanto para delimitar problemas (Kitsiou y Karidys, 2000) como para estudios más generales de áreas de interés (Garibaldi y Caddy, 1998; Kitsiou, Coccosis y Karidys, 2002). Generalmente, estos trabajos utilizan información disponible sobre las áreas tratadas, que suelen ser relativamente amplias.

La presente contribución forma parte de un proyecto más amplio de levantamiento cartográfico temático a escala de detalle y redacción de los criterios de ordenación para la declaración de un espacio protegido marítimo-terrestre en el tramo litoral comprendido entre el cabo de Gracia y punta Carnero, que constituye el frente litoral norte del estrecho de Gibraltar, auspiciado y financiado por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía.

MATERIAL Y MÉTODOS

Ámbito geográfico

El ámbito geográfico considerado es el delimitado, para el medio marino, por la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía, con intención de crear de un nuevo espacio protegido (Parque Natural Marítimo-Terrestre) en el cono sur ibérico. Abarca el frente litoral norte del estrecho de Gibraltar, desde el cabo de Gracia, al oeste, hasta punta Carnero, al este. Se pueden diferenciar dos zonas, occidental y oriental.

Zona occidental

Esta zona abarca una superficie continua desde el cabo de Gracia (246785/3997631 UTM), adentrándose una milla marina perpendicular a la costa, desde donde continúa una milla marina paralela a la costa, frente a la isla de las Palomas o isla de Tarifa (264943/3987447 UTM).

Zona oriental

Desde el punto (264510/3985429 UTM) frente a la isla de Tarifa, el límite discurre paralelo a la costa una milla marina mar adentro, llegando hasta la perpendicular a punta Carnero (281756/3995998 UTM), por donde se acerca hasta la costa recorriendo su frente hasta el extremo del límite terrestre antes descrito. Ambas zonas comprenden un total aproximado de 9,142 ha.

Para la cartografía de las comunidades bentónicas, el ámbito geográfico no se circunscribe al límite sur de una milla mar adentro, sino que éste es batimétrico, coincidente con la isóbata de 30 me-

tros de profundidad (cota máxima a la que se obtuvo la información biológica en cada recorrido).

Metodología cartográfica

Procedimiento general

Para coadyuvar a una mejor gestión, manejo y conservación del ecosistema litoral, se ha implementado una metodología de levantamiento cartográfico de las comunidades bentónicas que puede aplicarse a tramos litorales extensos. El escenario elegido ha sido el frente litoral norte del estrecho de Gibraltar (intervalo batimétrico 0-30 metros y 40 km de extensión litoral aproximada).

El mapa batimétrico levantado a tal efecto se superpone al mapa específico de tipos de fondos ejecutado para ser introducido en un SIG (este aspecto se detallará en apartados siguientes). La combinación de ambas cartografías genera un nuevo mapa que integra los dos tipos de información y que resulta esencial para, sobre él, superponer y extrapolar con posterioridad la información específicamente levantada de las comunidades bentónicas (sustrato duro y blando).

Este último mapa fue elaborado a partir de recorridos realizados perpendicularmente a la línea de costa y a diferentes profundidades. En sustrato rocoso, la información levantada se centró exclusivamente sobre enclaves iluminados horizontales o de mínima pendiente. Cuando se observaron cambios significativos (entre dos trazados) en las comunidades para tipos de fondos y profundidades similares, se ejecutaron recorridos intermedios que permitieran detectar las zonas de cambio y establecer, así, los pertinentes límites de las manchas correspondientes a cada tipo de comunidad (aspecto que también se detallará en apartados siguientes).

En síntesis, a una superposición cartográfica de información tanto física (batimetría y tipos de fondos) como biológica (comunidades bentónicas), le sigue una extrapolación de esta última a zonas de similar profundidad, tipos de fondos y enclaves (horizontales, o de mínima pendiente, iluminados) cuyos límites son establecidos, a profundidad similar o diferente, gracias a la información detraída de las diferentes cotas batimétricas prospectadas en inmersión y al establecimiento de trazados intermedios. La figura 1 muestra la metodología general establecida específicamente para el levanta-

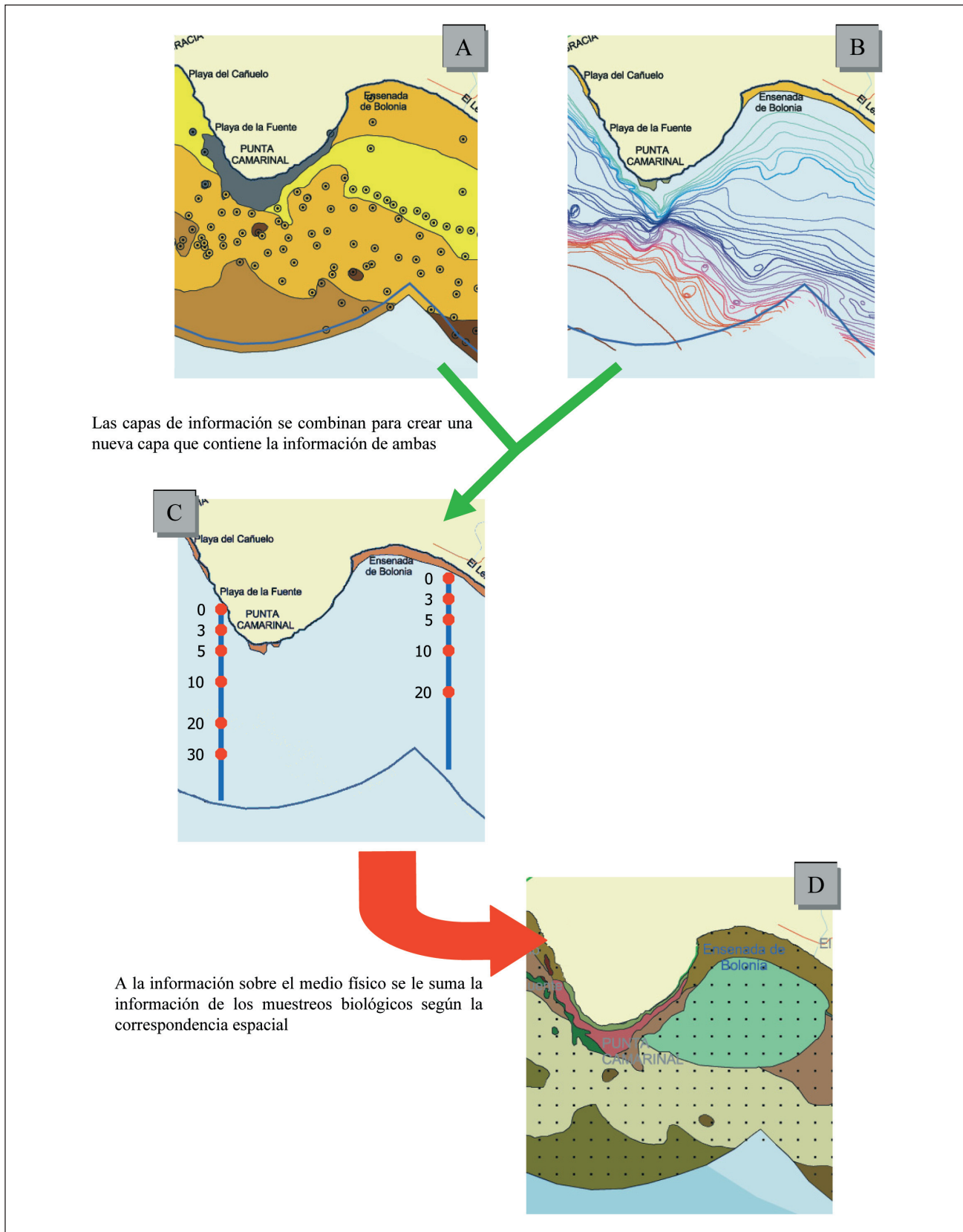


Figura 1. Esquema representativo del proceso de unión de las distintas capas de información previamente levantadas para elaborar la cartografía de las comunidades biológicas marinas. (A): fisiografía; (B): batimetría; (C): muestreos biológicos; (D): comunidades biológicas marinas.

miento cartográfico de las comunidades bentónicas del frente litoral norte del estrecho de Gibraltar (con intervalo batimétrico 0-30 metros).

Cartografía de tipos de fondo y batimetría (figuras 2 y 3)

La metodología utilizada en este trabajo para la determinación de los tipos de fondo ha consistido, por una parte, en el análisis de perfiles de sísmica continua por reflexión (Subbottom Profiler 3,5 kHz, y Boomer) y sonografías, y por otra en el estudio de muestras de sedimento superficial extraídas mediante draga de cuchara en estaciones seleccionadas.

Los procedimientos se pueden agrupar en dos etapas: una fase en el mar, que incluye la toma de datos geofísicos y muestras de sedimento, y una fase de laboratorio, que comprende el estudio del sedimento y el tratamiento estadístico de los datos (Tucker, 1988). La estratigrafía sísmica y el grosor de las capas de sedimentos no consolidados (isopacas) se obtuvieron mediante perfiles sísmicos. Se utilizaron registros obtenidos con sonar de barrido lateral para determinar características morfológicas y litológicas del fondo.

El origen de la información utilizada es muy diverso. Procede, en parte, de una amplia base de datos geofísicos obtenidos en expediciones de Esgemar, a la que se añade la recolección de nuevos datos en otras campañas realizadas en la zona (MOPT, 1991; Red Eléctrica Española, 1996; Junta de Andalucía, 1999). La Universidad de Sevilla ha proporcionado otros datos complementarios del análisis del sedimento que han completado la información existente, con lo que se ha cubierto el área de estudio en su totalidad.

La posición y localización de los puntos de muestreo para los perfiles geofísicos se han obtenido mediante un GPS diferencial de precisión submétrica (Ayala *et al.*, 1985; Díaz del Río, 1989; Rey, 1990). Este equipo estaba conectado a un sistema de navegación para determinar el rumbo del barco en tiempo real.

Los levantamientos batimétricos se han realizado con una ecosonda de precisión de doble frecuencia simultánea (100-500 kHz), aplicando correcciones de marea. Los datos de sustrato a escala local y regional se han obtenido mediante registros continuos de reflexión sísmica realizados con Subbottom Profiler (3,5 kHz) y un sistema sísmico

Geopulse (Trabant, 1984; Ayala *et al.*, 1985; Rey, 1990). La separación entre trazados (perpendiculares y paralelos a la costa, configurando una malla) fue de 100 m y la escala de los levantamientos realizados de 1:10 000.

El análisis de los registros obtenidos ha permitido la obtención de mapas de ecocarácter, morfo-deposicionales, morfoestructurales y de relleno deposicional (Esteras, Muñoz y Sandoval, 1988; Campillo, Maldonado y Maufret, 1992; Sandoval, Izquierdo y Sanz, 1995). Las muestras del sedimento superficial obtenidas mediante dragado y buceo han contribuido a conocer la distribución de los tipos de sedimento, tipos de fondo blando y las granulometrías asociadas (los puntos de muestreo están representados en la figura 2).

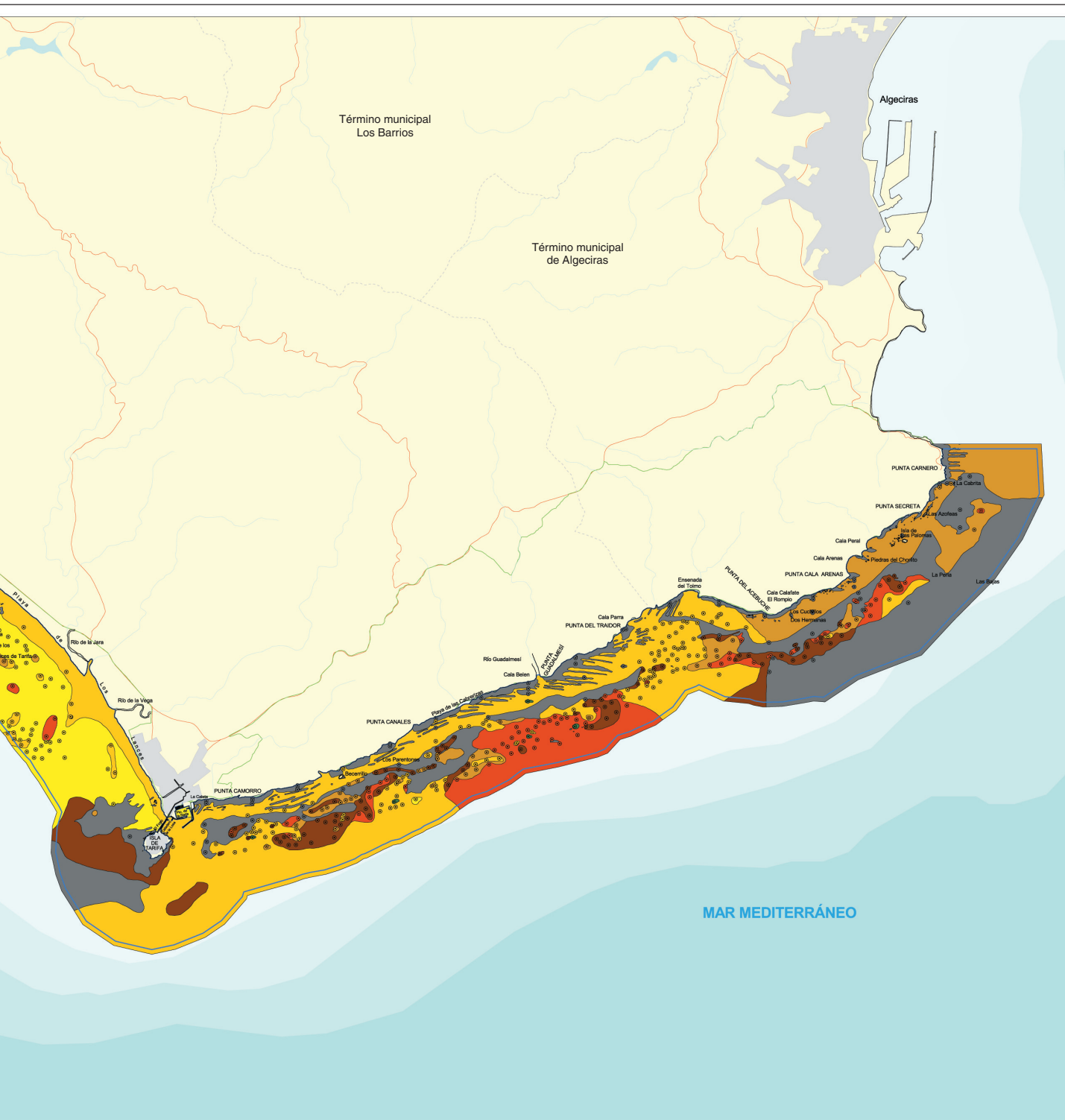
Cartografía de las comunidades bentónicas basada en la interpretación de imágenes submarinas georreferenciadas y superposición a las cartografías batimétrica y de tipos de fondo (figura 4)

Para la obtención de la información cartográfica inherente a la biota bentónica se desarrolló una campaña oceanográfica intensa (Laboratorio de Biología Marina de la Universidad de Sevilla) durante los meses de julio y agosto de 1999, a bordo de las embarcaciones AMA 6 y AMA 8 de la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía. Para sistematizar esta información se organizó un dispositivo de recorridos de dirección N-S, equidistantes 1 km. Las muestras se tomaron en los puntos de intersección con las isóbatas de 0, 3, 5, 10, 20 y 30 metros. Los muestreos a 0, 3 y 5 metros se realizaron desde tierra o con el apoyo de una embarcación neumática, mientras que los efectuados a 10, 20 y 30 metros lo fueron desde las mencionadas embarcaciones de la Consejería de Medio Ambiente, previo fondeo para una mayor precisión en el posicionamiento.

Para el mismo intervalo batimétrico y similares tipo de fondo y pendiente, la distancia de 1 km entre trazados se consideró satisfactoria para inferir que una comunidad presente en dos recorridos contiguos, se encontraba también en el espacio entre ellos. Sin embargo, cuando se apreciaba un cambio de un recorrido a otro se realizaba un trazado suplementario en la distancia intermedia (500 m), y si se consideraba necesario, otro más en-



Figura 2. Cartografía de los tipos de fondos del frente litoral norte del estrecho de Gibraltar.



BASE CARTOGRÁFICA

Línea de costa y toponimia:
 Instituto Hidrográfico de la Marina, España

Límite marítimo del frente litoral:
 B.O.J.A. nº 25. 27/02/99. 2578-2521

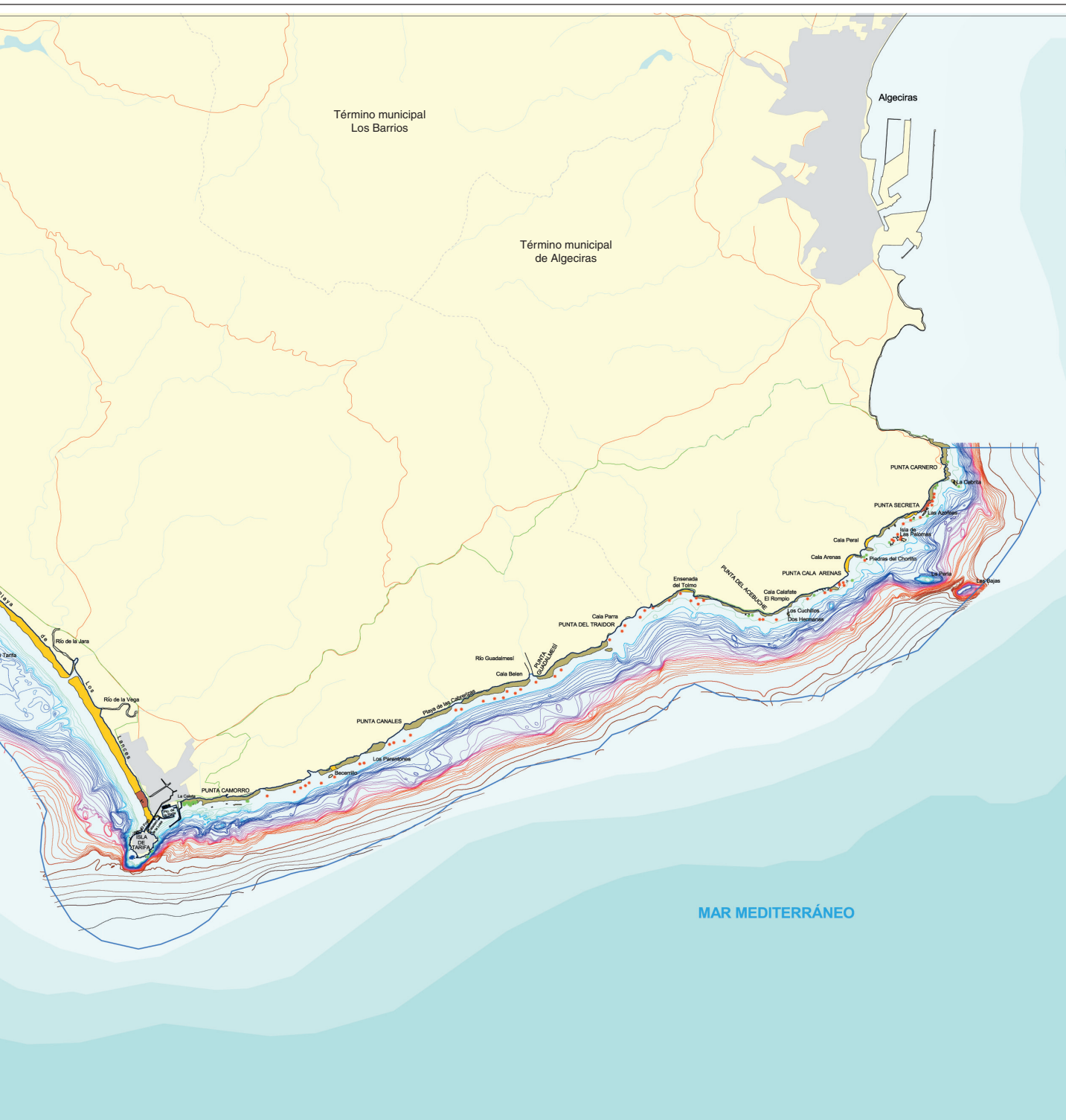
Hojas 10 000:
 Instituto de Cartografía de Andalucía
 Junta de Andalucía
 Consejería de Obras Públicas y Transporte

LEYENDA

TIPOS DE FONDO	PUNTOS DE MUESTREO
 Arena fina	 Arena fina
 Arena gruesa	 Arena gruesa
 Arena media	 Arena media
 Arena muy gruesa	 Arena muy gruesa
 Biotrítico	 Biotrítico
 Grava	 Grava
 Roca	 Roca



Figura 3. Cartografía de la batimetría del frente litoral norte del estrecho de Gibraltar.



BASE CARTOGRÁFICA

Línea de costa y toponimia:
 Instituto Hidrográfico de la Marina, España

Límite marítimo del frente litoral:
 B.O.J.A. nº 25. 27/02/99. 2578-2521

Hojas 10 000:
 Instituto de Cartografía de Andalucía
 Junta de Andalucía
 Consejería de Obras Públicas y Transporte

LEYENDA

BAJAMAR

- Mixto
- Playa
- Roca

ESCOLLOS

- * Escollo a flor de agua
- * Escollo cubierto y peligroso de profundidad desconocida
- * Escollo que cubre y descubre

ISÓBATAS (m)

5	21	37
6	22	38
7	23	39
8	24	40
9	25	41
10	26	42
11	27	43
12	28	44
13	29	45
14	30	50
15	31	60
16	32	70
17	33	80
18	34	90
19	35	100
20	36	200



Figura 4. Cartografía de las comunidades bentónicas del frente litoral norte del estrecho de Gibraltar. La línea roja indica la isóbata de 30 m, límite de los muestreos biológicos.



LEYENDA

Comunidad mediolitoral rocosa	Comunidad de arenas finas bien clasificadas o comunidad de <i>Venus</i>
Comunidad de algas fotófilas	Comunidad de arenas finas bien clasificadas o comunidad de <i>Venus</i> y comunidad de arenas gruesas y gravas finas sometidas a corrientes de fondo o comunidad de <i>Clausinella fasciata</i>
Comunidad de algas fotófilas con predominio de <i>Corallina</i>	Comunidad de arenas finas en aguas someras de la zona de rompientes
Comunidad de algas fotófilas con predominio de <i>Corallina</i> y <i>Amphiroa</i>	Comunidad de arenas gruesas y gravas finas removidas por las olas
Comunidad de algas fotófilas con predominio de <i>Saccorhiza polyschides</i>	Comunidad de arenas gruesas y gravas finas sometidas a corrientes de fondo o comunidad de <i>Clausinella fasciata</i>
Comunidad de algas fotófilas con predominio de <i>Saccorhiza polyschides</i> y <i>Cystoseira usneoides</i>	Comunidad de arenas gruesas y gravas finas sometidas a corrientes de fondo o comunidad de <i>Clausinella fasciata</i> y arenas de <i>Amphioxus</i>
Comunidad de algas de profundidad con predominio de <i>Laminaria</i> en fondos biodetríticos de maërl	Comunidad de arenas medias o comunidad de <i>Ervillea castanea</i>
Comunidad de algas fotófilas profundas sin laminariales y fondos de maërl	Comunidad de <i>Cymodocea nodosa</i> de arenas medias
Comunidad de algas fotófilas y esciáfilas con comunidad de maërl con predominio de <i>Saccorhiza polyschides</i> y <i>Sphaerococcus coronopifolius</i>	Comunidad de fondos arenosos con influencia del aporte de ríos
Comunidad esciáfila de <i>Eunicella singularis</i>	
Comunidad esciáfila de <i>Paramuricea clavata</i>	

tre ellos (250 m), para definir los bordes de la comunidad en cuestión.

En cada punto de inmersión (o de dragado, en el caso de fondo blando) para cada recorrido pre-establecido, el posicionamiento se efectuó con un GPS convencional (Garmin 12XL) con corrección a tiempo real mediante RASANT, sistema RDS (control de datos mediante radio) y la sonda del barco para determinar la profundidad adecuada.

Los datos se tomaron en muestreos directos en el caso del sustrato duro (buceos con escafandra autónoma) e indirectos para el sustrato blando (dragados).

Respecto al sustrato blando, para la tipificación de comunidades macrofaunales se extrajo una muestra de sedimento (de tres a cinco réplicas obtenidas con una draga Van Veen de frente de ataque 0,05 m²) por cada demarcación de muestreo (de superficie total 0,15-0,25 m²). Se utilizó una réplica adicional para la caracterización granulométrica, con la finalidad de realizar el ajuste adecuado entre la comunidad macrofaunal identificada y el tipo de sedimento que la contenía, lo que posibilitaba la superposición de esta información al tipo de sedimento similar registrado en la cartografía de tipos de fondo.

En sustrato duro se procedía de modo directo mediante buceo con escafandra autónoma y toma de fotografías con un objetivo gran angular Nikonos 15 mm. Este objetivo facilita la toma imágenes con alto grado de detalle y gran profundidad de campo lo que permite la posterior identificación de las especies bentónicas predominantes y la caracterización general de las comunidades, especialmente de las megabentónicas.

En cuanto al sustrato rocoso, dada la extrema complejidad de las distribuciones de organismos debido a la irregularidad del mismo y a las innumerables posibilidades de vida que ofrece, se optó exclusivamente por la cartografía de las comunidades biológicas enclavadas sobre superficies horizontales o de mínima pendiente, iluminadas (paulatinamente menos conforme aumenta la profundidad). La razón de ello estriba en que la batimetría y la luz son dos grandes condicionantes de la distribución de organismos sobre tales enclaves en el mar (por estar éstos bien iluminados dada su similar y adecuada orientación respecto a la superficie del agua). Las comunidades asentadas sobre este tipo de superficies son, pues, las que ofrecen una distribución más regular y previsible, ostentando, por ello, una mayor representatividad cartográfica.

Por tanto, fueron voluntariamente omitidos los enclaves verticales, extraplomados, infralapidícolas y de cuevas, que, aunque presentan comunidades de organismos muy estructuradas y biodiversas, su irregularidad y la gran variedad de microambientes que se generan en torno a ellos, propician distribuciones de especies extremadamente aleatorias y dificultan enormemente su detección para una cartografía en la que resultaría ciertamente complejo representar su ubicación espacial.

Para cada uno de los puntos de muestreo se completó un estadillo con el fin de generar una completa base de datos puntual que acompañara a la información geográfica poligonal.

Una vez identificadas las comunidades biológicas, se asignó un código a cada tipo. La asignación del código se estableció de manera correlativa por los propios autores, pues, a día de hoy, se carece de un inventario codificado de todas las comunidades biológicas marinas del litoral andaluz (al final del texto se encuentra una tabla con las comunidades biológicas marinas representativas de la zona, el código correspondiente y el grado de categoría de protección que se le asignó según los criterios expuestos en este mismo trabajo).

Esta información se superpuso a la ya referida a batimetría y tipos de fondo (escala 1:10 000). Ambas capas de información se cortan, y se obtiene una nueva capa en la que cada polígono está cortado entre dos cotas batimétricas precisas y posee información sobre el tipo de fondo. La información relativa a las comunidades biológicas marinas estaba distribuida puntualmente en el espacio. A cada polígono se le une la información de la comunidad que espacialmente le corresponde. A los polígonos sin correspondencia espacial con puntos de muestreo se les asignó el tipo de comunidad más adecuado según su posición y la proximidad al resto de las comunidades. El software utilizado fue Arc/Info 7.1.2.

RESULTADOS

Comunidades bentónicas cartografiadas

Las comunidades biológicas que se señalan han sido establecidas según propuestas de caracterización precedentes (Petersen, 1918; Thorson, 1957, 1966; Glemarec, 1964; Pérès y Picard, 1964; Holme, 1966; Cabioch, 1968; Augier, 1982; Meinesz *et al.*,

1983; Margalef, 1989; Templado *et al.*, 1993; Bellan-Santini y Poizat, 1994) y, en algunos casos, por criterio específico del grupo de trabajo.

Comunidades de fondos rocosos

- Comunidad mediolitoral rocosa.
- Comunidad de algas fotófilas.
- Comunidad de algas fotófilas con predominio de *Corallina*.
- Comunidad de algas fotófilas con predominio de *Corallina* y *Amphiroa*.
- Comunidad de algas fotófilas con predominio de *Saccorhiza polyschides* (entre 5 y 25 m de profundidad).
- Comunidad de algas fotófilas con predominio de *S. polyschides* y *Cystoseira usneoides*.
- Comunidad de algas de profundidad con predominio de *Laminaria ochroleuca* en fondo biodetrítico de maërl (a partir de 20 m de profundidad).
- Comunidad de algas fotófilas profundas sin laminariales y fondos de maërl.
- Comunidad de algas fotófilas y esciáfilas con predominio de *S. polyschides*.
- Comunidad de algas fotófilas y esciáfilas, con predominio de *Sphaerococcus coronopifolius*.
- Comunidad esciáfila de *Paramuricea clavata*.
- Comunidad esciáfila de *Eunicella singularis*.
- Comunidad esciáfila de fondo de maërl.

Comunidades de fondos blandos

- Comunidad de arenas gruesas y gravas finas removidas por las olas.
- Comunidad de arenas medias o comunidad de *Ervilia castanea*.
- Comunidad de arenas finas en aguas someras de la zona de rompientes.
- Comunidad de fondos arenosos con influencia del aporte de ríos.
- Comunidad de arenas finas bien clasificadas o comunidad de *Venus*.
- Comunidad de arenas gruesas y gravas finas sometidas a corrientes de fondo o comunidad de *Clausinella fasciata*.
- Comunidad de arenas gruesas y gravas finas sometidas a corrientes de fondo o comunidad de *C. fasciata* y arenas de anfioxos.
- Comunidad de *Cymodocea nodosa* de arenas medias. Los límites de las praderas han sido estimados a

partir de varios puntos en los que se ha detectado su presencia. *Cymodocea nodosa*, aunque puede desarrollarse en un amplio rango de condiciones ambientales, crece principalmente en áreas protegidas (Guidetti *et al.*, 2001), aunque también se localiza en zonas con una exposición moderada (Cebrián, Duarte y Marba, 1996). En este sentido, se puede observar en la cartografía adjunta (figura 4) cómo el área de distribución se limita a ensenadas relativamente protegidas, especialmente en una zona tan hidrodinamicamente activa como el estrecho de Gibraltar.

La cartografía de las comunidades bentónicas es actualmente esencial para promover actuaciones eficientes de uso, gestión y conservación de las zonas litorales, especialmente en el ámbito de grandes extensiones costeras protegidas por la legislación vigente. En cada una de tales extensiones, la cartografía resulta determinante para la elaboración de un mapa de zonificación de usos, condicionado, en gran medida, por el distinto valor ecológico que pueda asignársele a las diferentes comunidades bentónicas establecidas y a su distribución geográfica local. Las zonas delimitadas al efecto pueden ser de uso escasamente restringido (se permiten numerosas actividades, incluso extractivas) o muy restringido (por ejemplo, sólo actividades científicas o conservacionistas).

La metodología utilizada en la elaboración del mapa de las comunidades bentónicas del estrecho de Gibraltar, dada la complejidad que reviste este tipo de objetivos, supone una aproximación al cartografiado de la biota sésil, sumergida, en tramos litorales amplios.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Consejería de Medio Ambiente de la Junta de Andalucía la financiación de este trabajo. A esta última, además, el apoyo logístico de sus embarcaciones y de su cualificado personal, así como el material técnico para la cartografía. Agradecemos, también, las valiosas observaciones de dos evaluadores anónimos.

BIBLIOGRAFÍA

Augier, H. 1982. *Inventaire et classification des biocenoses marines benthiques de la Méditerranée*. Colloque Sauvegarde de la Nature. Consejo Europeo. Estrasburgo: 60 pp.

- Ayala, F. J., L. Casero, J. Celma, M. Romana y D. Simic. 1985. *Métodos de reconocimiento del subsuelo marino*. Instituto Geológico y Minero de España. Madrid: 316 pp.
- Bellan-Santini, D. y C. Poizat. 1994. Les biocénoses benthiques. En: *Les biocénoses marines et littorales de Méditerranée. Synthèse, menaces et perspectives* (Collection Patrimoines Naturels). D. Bellan-Santini, J. C. Lacaze y C. Poizat (eds.) 19: 98-118. Muséum National d'Histoire Naturelle. París.
- Bian, L. 2000. Object-oriented representation for modelling mobile objects in an aquatic environment. *International Journal of Geographical Information Science* 14 (7): 603-623.
- Bosque, J. 1992. *Sistemas de Información Geográfica*. Ediciones Rialp S.A. Madrid: 452 pp.
- Cabioch, L. 1968. Contribution à la connaissance des peuplements benthiques de la Manche Occidentale. *Cahiers Biologie Marine* 9: 493-720.
- Caddy, J. F. y F. Carocci. 1999. The spatial allocation of fishing intensity by port-based inshore fleets: a GIS application. *ICES Journal of Marine Science* 56: 388-403.
- Calvín, J. C. (ed.). 1998. *El Litoral Sumergido de la Región de Murcia*. Consejería de Medio Ambiente. Murcia, España: 127 pp.
- Campillo, A. C., A. Maldonado y A. Maufret. 1992. Stratigraphic and tectonic evolution of the Western Alboran Sea: Late Miocene to Recent. *Geo-Marine Letters* 12: 165-172.
- Cebrián, J., C. M. Duarte y N. Marba. 1996. Herbivory on the seagrass *Cymodocea nodosa* (Ucria) Ascherson in contrasting Spanish Mediterranean habitats. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 204: 103-111.
- Congleton Jr., W. M., B. R. Pearce, M. R. Parker y B. F. Beal. 1999. Mariculture siting: a GIS description of intertidal areas. *Ecological Modelling* 116: 63-75.
- Díaz del Río, V. 1989. *Morfología, formaciones superficiales y evolución reciente del margen continental en la región de Cabo de Palos (entre Cabo Tiñoso y Cabo Cervera)*. SE de la Península Ibérica. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid: 358 pp.
- Durand, S., M. le Bel, S. K. Juniper y P. Legendre. 2002. The use of video surveys, a Geographic Information System and sonar backscatter data to study faunal community dynamics at Juan de Fuca Ridge hydrothermal vents. *Cahiers de Biologie Marine* 43: 235-240.
- Esteras, M., P. Muñoz y N. Sandoval. 1988. *Mapa Geológico del Estrecho de Gibraltar-Orilla Norte, Escala 1:100 000*. Secegsa. Madrid.
- Garibaldi, L. y J. F. Caddy. 1998. Biogeographic characterization of Mediterranean and Black Seas faunal provinces using GIS procedures. *Ocean & Coastal Management* 39: 211-227.
- Garrabou, J. 1997. *Structure and dynamics of north-western Mediterranean rocky benthic communities along a depth gradient: a Geographical Information System (GIS) approach*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona. Barcelona, España: 274 pp.
- Glemarec, M. 1964. Bionomie benthique de la partie orientale du golfe de Morbihan. *Cahiers de Biologie Marine* 5: 33-96.
- Guidetti, P., M. Lorenti, M. C. Buia y L. Mazzella. 2001. Temporal Dynamics and Biomass Partitioning in Three Adriatic Seagrass Species: *Posidonia oceanica*, *Cymodocea nodosa*, *Zostera marina*. *PSZNI: Marine Ecology* 23 (1): 51-67.
- Gutiérrez, J. y M. Gould. 1994. *Sistemas de Información Geográfica*. Síntesis. Madrid: 256 pp.
- Holme, N. A. 1966. The bottom fauna of the English Channel. Part II. *Journal of the Marine Biological Association (UK)* 46: 401-493.
- Junta de Andalucía. 1999. *Atlas General de Andalucía. Medio Marino*. Consejería de Medio Ambiente. CD-ROM Mapas.
- Kitsiou, D., H. Coccossis y M. Karidys. 2002. Multi-dimensional evaluation and ranking of coastal areas using GIS and multiple criteria choice methods. *The Science of the Total Environment* 284: 1-17.
- Kitsiou, D. y M. Karidys. 2000. Categorical mapping of marine eutrophication based on ecological indices. *The Science of the Total Environment* 255: 113-127.
- Kostylev, V. E., B. J. Todd, G. B. J. Fader, R. C. Courtney, G. D. M. Cameron y R. A. Pickrill. 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.
- Lenton, S. M., J. E. Fa y J. Pérez del Val. 2000. A simple non-parametric GIS model for predicting species distribution: endemic birds in Bioko Island, West Africa. *Biodiversity and Conservation* 9: 869-885.
- Margalef, R. (dir.) 1989. *El Mediterráneo Occidental*. Omega. Barcelona, España: 374 pp.
- Maury, O. y D. Gascuel. 1999. SHADYS ('simulateur halieutique de dynamiques spatiales), a GIS based numerical model of fisheries. Example application: the study of a marine protected area. *Aquatic and Living Resources* 12 (2): 77-88.
- Meinez A. C. F. Boudouresque, C. Falconetti, J. M. Astier. D. Bay, J. J. Blanc, M. Bourcier, F. Cinelli, S. Cirik, G. Cristiani, I. Geronimo, G. Giaccone, J. G. Harmelin, L. Laubier, A. Z. Lovric, R. Molinier, J. Soyer y C. Vamvakas. 1983. Normalisation des symboles pour la représentation et la cartographie des biocénoses benthiques littorales de Méditerranée. *Ann. Inst. Océanogr. (Paris)* 59 (2): 155-172.
- Ministerio de Medio Ambiente 1998. *Guía para la elaboración de estudios del medio físico*. Secretaría General de Medio Ambiente. Madrid: 809 pp.
- Moreira, J. M. y A. Fernández-Palacios. 1998. *Teledetección y SIG aplicados a la gestión de los espacios naturales protegidos en el litoral. El caso de Andalucía*. Manlissat. Sevilla, España: 370 pp.
- MOPT. 1991. *Estudio geofísico del tramo de costa comprendido entre Cabo de Trafalgar y Punta del Carnero (E: 1:5 000)*. Memoria y Planos. Vol. I, II, III y IV. Dirección General de Costas. Madrid.
- Pérès, J. M. y J. Picard. 1964. Nouveau manuel de bionomie benthique de la Mer Méditerranée. *Recueil des Travaux de la Station Marine d'Endoume* 31 (47): 3-137.
- Petersen, C. G. J. 1918. The sea-bottom and its production of fish-food. *Report Danish Biological Station* 25: 1-62.
- Red Eléctrica Española. 1996. *Interconexión Eléctrica España-Marruecos*. Informe de Red Eléctrica Española. Madrid: 40 pp.

- Rey, J. 1990. *Relación Morfosedimentaria entre la Plataforma Continental de Galicia y las Rías Bajas y su evolución durante el Cuaternario*. Tesis doctoral. Universidad Complutense de Madrid. Madrid: 98 pp.
- Sandoval, N. G., F. J. Izquierdo y J. L. Sanz. 1995. Fisiografía y geología del área del umbral del Estrecho de Gibraltar: corredor de Punta Paloma (España)-Punta Malabata (Marruecos). En: *IV Coloquio Internacional sobre el enlace físico del Estrecho de Gibraltar (Sevilla)*: 9-19.
- Stanbury, K. B. y R. M. Starr. 1999. Application of Geographical Information Systems (GIS) to habitat assessment and marine resource management. *Oceanologica Acta* 22: 699-703.
- Star, J. 1990. *Geographic Information Systems. An Introduction*. Prentice Hall. Englewood Cliffs. Nueva Jersey: 304 pp.
- Templado, J., A. Guerra, J. Bedoya, D. Moreno, J. M. Remón, M. Maldonado y M. A. Ramos. 1993. *Fauna I: Fauna marina circalitoral del sur de la península Ibérica*. Museo Nacional de Ciencias Naturales. CSIC. Madrid: 135 pp.
- Thorson, G. 1957. Bottom communities (sublittoral or shallow shelf). En: *Treatise on Marine Ecology and Paleoecology*. Vol. 1: Ecology. J. W. Hedgpeth (ed.): 461-534. Geological Society of America. Boulder (Colorado), EE UU.
- Thorson, G. 1966. Some factors influencing the recruitment and establishment of marine benthic communities. *Netherland Journal of Sea Research* 3 (2): 267-293.
- Trabant, P. K. 1984. *Applied High-Resolution Geophysical Methods: Offshore Geoengineering Hazards*. International Human Rights Resources Development Corporation. Boston, EE UU: 265 pp.
- Tucker, M. 1988. *Techniques in Sedimentology*. Blackwell. Oxford: 394 pp.
- Urbanski, J. A. y M. Szymelfenig. 2003. GIS-based mapping of benthic habitats. *Estuarine Coastal and Shelf Science* 56: 99-109.
- Wright, D. y D. Bartlett (eds.). 1999. *Marine and Coastal Geographic Information Systems*. Taylor and Francis. Peterborough: 320 pp.
- Wright, R., S. Ray, D. R. Green y M. Wood. 1998. Development of a GIS of the Moray Firth (Scotland, UK) and its application in environmental management (site selection for an "artificial reef"). *The Science of the Total Environment* 223: 65-76.