

8330

CUEVAS MARINAS SUMERGIDAS O SEMISUMERGIDAS

AUTORES

Juan López Bedoya y Augusto Pérez Alberti

Esta ficha forma parte de la publicación **Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España**, promovida por la Dirección General de Medio Natural y Política Forestal (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo.

Realización y producción



Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo y Francisco Melado Morillo.

Coordinación técnica

Juan Carlos Simón Zarzoso.

Colaboradores

Presentación general: Roberto Matellanes Ferreras y Ramón Martínez Torres. Edición: Cristina Hidalgo Romero, Juan Párbole Montes, Sara Mora Vicente, Rut Sánchez de Dios, Juan García Montero, Patricia Vera Bravo, Antonio José Gil Martínez y Patricia Navarro Huercio. Asesores: Íñigo Vázquez-Dodero Estevan y Ricardo García Moral.

Diseño y maquetación

Diseño y confección de la maqueta: Marta Munguía.

Maquetación: Do-It, Soluciones Creativas.

Agradecimientos

A todos los participantes en la elaboración de las fichas por su esfuerzo, y especialmente a Antonio Camacho, Javier Gracia, Antonio Martínez Cortizas, Augusto Pérez Alberti y Fernando Valladares, por su especial dedicación y apoyo a la dirección y a la coordinación general y técnica del proyecto.

Las opiniones que se expresan en esta obra son responsabilidad de los autores y no necesariamente de la **Dirección General de Medio Natural y Política Forestal** (Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino).

La coordinación general del grupo 8 ha sido encargada a la siguiente institución

Sociedad Española de Geomorfología



Autores: Juan López Bedoya¹ y Augusto Pérez Alberti¹.

¹Univ. de Santiago de Compostela.

Colaboraciones específicas relacionadas con los grupos de especies:

Mamíferos: Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamíferos (SECEM). Francisco José García, Luis Javier Palomo (coordinadores-revisores), Roque Belenguer, Ernesto Díaz, Javier Morales y Carmen Yuste (colaboradores-autores).

A efectos bibliográficos la obra completa debe citarse como sigue:

VV.AA., 2009. *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

A efectos bibliográficos esta ficha debe citarse como sigue:

LÓPEZ-BEDOYA, J. & PÉREZ-ALBERTI, A., 2009. 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas. En: VV.AA., *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 152 pp.

Primera edición, 2009.

Edita: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Secretaría General Técnica.
Centro de Publicaciones.

NIPO: 770-09-093-X

ISBN: 978-84-491-0911-9

Depósito legal: M-22417-2009

1. PRESENTACIÓN GENERAL	7
1.1. Código y nombre	7
1.2. Descripción	7
1.3. Problemas de interpretación	9
1.4. Distribución geográfica	12
2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA	23
2.1. Regiones naturales	23
2.2. Demarcaciones hidrográficas e identificación de masas de agua superficiales	27
2.3. Factores biofísicos de control	56
2.4. Subtipos de cuevas costeras	67
2.5. Exigencias ecológicas	75
2.6. Taxones anexos II, IV y V	86
3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN	87
3.1. Determinación y seguimiento de la superficie ocupada	87
3.2. Identificación y evaluación de las especies típicas	87
3.3. Evaluación de la estructura y función	88
3.3.1. Factores, variables y/o índices	88
3.3.2. Protocolo para determinar el estado de conservación global de la estructura y función	119
3.3.3. Protocolo para establecer un sistema de vigilancia global del estado de conservación de la estructura y función	125
3.4. Evaluación y perspectivas de futuro	128
4. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN	129
5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA	131
5.1. Bienes y servicios	131
5.2. Líneas prioritarias de investigación	131
6. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA	135
7. FOTOGRAFÍAS	139



1. PRESENTACIÓN GENERAL

1.1. CÓDIGO Y NOMBRE

8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas

1.2. DESCRIPCIÓN

A continuación se ofrece la descripción del tipo de hábitat 8330, según Bartolomé *et al.* (2005):

“Tipo de hábitat desarrollado mayoritariamente en las costas calcáreas de la Península y Baleares, así como en Ceuta y en las costas volcánicas de Canarias. En las zonas silíceas, las cuevas marinas tienen escaso desarrollo, reduciéndose generalmente a excavaduras generadas por la fuerza de las olas (“fornas”).”

Su distribución suele coincidir con macizos montañosos calcáreos, que a menudo se prolongan bajo el agua emergiendo esporádicamente en forma de archipiélagos.

La falta de luz impide el desarrollo de organismos fotosintéticos, relegados a los fondos marinos adyacentes. Por el contrario, este tipo de hábitat es refugio de una rica fauna de elevado interés científico.

Muchas de las especies faunísticas presentan hábitos nocturnos y usan las cuevas como refugio durante el día, pero otras son casi exclusivamente cavernícolas. Las paredes de las cuevas están revestidas por invertebrados epibentónicos sésiles, como esponjas, cnidarios y tunicados. Entre las especies que habitan este medio, tenemos ofiuras (*Ophiotrix fragilis*, *Ophioderma longicaudatum*), holoturias (*Holothuria tubulosa*) y crustáceos decápodos, como langostas (*Palinurus elephas*), santiaguíños (*Scyllarus arctus*) o el cangrejo peludo (*Dromia personata*). Entre los peces, tenemos salmonetes reales (*Agonon imberbis*), gobios (*Thorogobius ephippiatus*), gallinetas (*Helicolenus dactylopterus*), brótolas (*Phycis phycis*), congrios (*Conger conger*) o corvallos (*Sciaena umbra*).

Código y nombre del tipo de hábitat en el anexo 1 de la Directiva 92/43/CEE

8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas

Definición del tipo de hábitat según el *Manual de interpretación de los hábitats de la Unión Europea* (EUR25, abril 2003)

Cuevas situadas bajo el nivel marino, o expuestas al mismo, al menos en marea alta, incluyendo su sumergimiento parcial en el mar. Sus comunidades laterales e inferiores están compuestas por invertebrados marinos y algas.

Relaciones con otras clasificaciones de hábitat

EUNIS Habitat Classification 200410

A1.4 Features of littoral rock

EUNIS Habitat Classification 200410

A1.44 Communities of littoral caves and overhangs

EUNIS Habitat Classification 200410

A3.7 Features of infralittoral rock

EUNIS Habitat Classification 200410

A3.71 Robust faunal cushions and crusts in surge gullies and caves

EUNIS Habitat Classification 200410

A4.7 Features of circalittoral rock

EUNIS Habitat Classification 200410

A4.71 Communities of circalittoral caves and overhangs

Palaeartic Habitat Classification 1996

11.26 Sublittoral cave communities

Palaeartic Habitat Classification 1996

Sin definir

Destaca un conjunto de pequeños crustáceos cavernícolas de elevado interés biogeográfico, como la quisquilla de antenas largas (*Stenopus spinosus*), el cangrejo *Herbstia condyliata* y distintas especies de pequeños misidáceos, que a menudo nadan formando enjambres dentro de las cuevas *Hemimysis spelunicola*, *H. margalefi*, *Pyroleptomysis peresi*, *Burrimysis palmeri*.

Una definición/descripción geomorfológica de interés la aportan Rosselló, *et al.*, en Fornós, *et al.* (eds.) (2007):

“Las cuevas marinas son cavidades originadas como resultado de la erosión, en gran parte

mecánica, asociada al ambiente energético que caracteriza las costas acantiladas. La acción erosiva aprovecha puntos de debilidad en la roca, sean discontinuidades sedimentarias o estructurales, viéndose favorecida también por la acción de los procesos bioerosivos (Trudgill, 1985). La caída de bloques y fragmentos de rocas por desprendimiento mecánico, que justifica el crecimiento volumétrico de la cavidad, contribuye a modelar su forma definitiva. Estas cavidades suelen presentar aperturas a nivel del mar con una penetración hacia el interior de la roca, de poca relevancia (Gràcia & Vicens, 1998), con un suelo ascendente y abundante acumulación de bloques heterométricos que engloban sedimentos marinos...”

Debe abrirse un debate sobre la idoneidad de ampliar este tipo de hábitat a diferentes geoformas costeras rocosas de transición, puntualizar aspectos sobre la distribución de los mismos y sobre la terminología.

En primer lugar, debe anotarse el escaso reconocimiento, en la descripción de la guía básica de los tipos de hábitat, acerca de la abundancia y del tamaño de las cuevas costeras en costas silíceas, metamórficas, graníticas o gnéissicas. Si bien no se alcanzan habitualmente las dimensiones de las cuevas kársticas, existen cavidades o sistemas de cuevas interconectadas que se prolongan de manera hectométrica en longitud y decamétrica en altura. Se puede poner el ejemplo de las cuevas del litoral pontevedrés, medidas, cartografiadas y descritas por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001. En este listado se pueden observar cuevas de más de 30 m de desarrollo vertical como la *Furna Xubenco*, en la isla de Ons, Bueu, y de penetraciones continentales de más de 80 m, como la *Furna Bastián de Val*, en esa misma isla. Otro ejemplo de especial interés por sus dimensiones es el bufadero existente en la misma ínsula, conocido como el *Buraco do Inferno*, que presenta un desarrollo horizontal de 70 m y un desnivel de 43 m desde la entrada del mar hasta la boca somital del acantilado. En total inventariaron 59 cuevas costeras, todas ellas con más de 20 m de profundidad y 8 de ellas con más de 50 m, a la vez que otras 8 tienen una dimensión decamétrica vertical, lo que da idea de la importancia de los fenómenos de socavamiento en materiales metamórficos e ígneos en la costa.

También es interesante aportar la idea de que en estas costas ígneas y silíceas metamórficas, sobre todo en el cantábrico y en la costa gallega, el número de oquedades es muy elevado, igualando o superando al de litologías calcáreas. Un par de ejemplos de esta afirmación serían:

- En la costa del municipio lucense de Ribadeo. En el sector costero de la playa de Augas Santas, en el extremo occidental de esta circunscripción municipal, conocido turísticamente como *As Catedrais*, existe un complejo entramado de túneles rocosos conectados cuyo desarrollo supera el centenar de metros. Al este de este sector, en las proximidades del lugar de Rinlo, aparece otro sistema similar. En cuanto al número, en la costa abierta de ese municipio, aparecen unas 240 cuevas marinas de diferentes tipos y dimensiones. Es decir, que para la correcta descripción y caracterización de este tipo de hábitat será necesario reconocer esta diversidad y abundancia de cuevas en medios no calcáreos o volcánicos.
- En el estrecho litoral del municipio de A Larcha, en la provincia de A Coruña, en poco más de 6 km, aparecen numerosas cavidades costeras, con un amplio catálogo tipológico al que se suman arcos y bufaderos, sobre materiales muy variados: neises alcalinos precámbrico-silúricos, granitos de dos micas hercínicos, y migmatitas. La distribución de estas geoformas se muestra a continuación en unas anotaciones cartográficas realizadas sobre ortofoto por Veira Verdía, 2008 (ver figura 1.1). En las notas de este colaborador sobre las citadas cuevas, indica que algunas han sido selladas por la construcción de muros hormigonados y el paseo marítimo de la localidad de Caión.

Por otro lado, el nombre genérico que adoptan estas cuevas en la costa gallega no es “fornas”, como se apunta en la primera descripción, sino “furnas”. Aunque ambas palabras pueden tener el mismo origen etimológico, la primera se manifiesta en lengua gallega como un topónimo y no como un nombre genérico.

Otra disquisición a tratar es la de ampliar este tipo de hábitat a todas aquellas oquedades, estén abovedadas o no, que constituyan un retroceso diferencial en la costa con un elevado grado de ombrofilia. En la clasificación que se anotará posteriormente, se

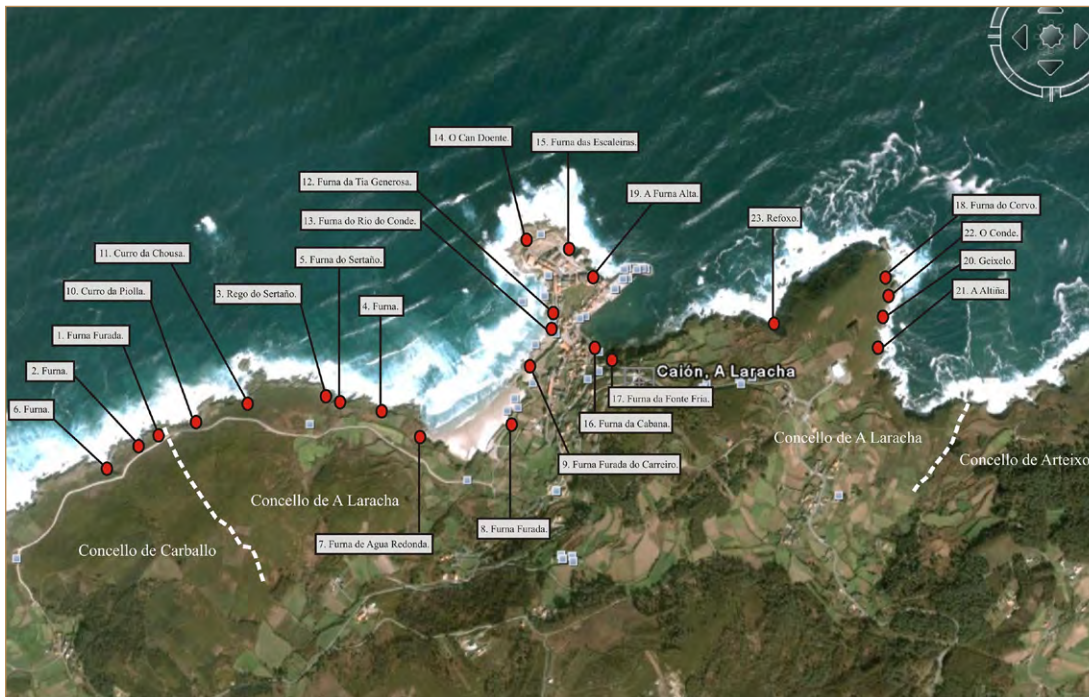


Figura 1.1

Ortofotografía que muestra la distribución de cuevas marinas en el municipio de A. Laracha.

incluirán geoformas tales como arcos rocosos, túneles rocosos o bufones (“bufadeiros”), o incluso, viseras, resaltes, pasadizos estrechos abiertos por el techo, etapas evolutivas de la tradicional cueva consistente en una oquedad abovedada y con una sola boca de contacto con el mar.

También se necesita ahondar en la excesiva simpleza de caracterizar a las cuevas silíceas como de generación simple por el oleaje marino, recalcando la importancia de otros factores como los litológicos y el estructural tectónico.

1.3. PROBLEMAS DE INTERPRETACIÓN

Existe la posibilidad de que algunas cuevas marinas puedan ser incluidas en el tipo de hábitat de interés comunitario 8310, “Cuevas no explotadas por el turismo”, puesto que en la franja costera aparecen ejemplos de cuevas cuya proyección continental les hace participar de ambientes terrestres modificados, relación intensificada por la existencia, en muchos casos, de aperturas continentales que evitan la nece-

sidad de que la fauna y la vegetación estén en contacto directo con el mar o tengan que utilizar como posible ruta de salida de su hábitat la comunicación marina de las cuevas. Así, habrá que tener en cuenta esta situación, al menos, para indicar que algunas cavidades costeras pueden compartir espacio con el tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas. En todo caso, la separación de ambos tipos de hábitat, en el caso de que sea posible realizarla, dependerá de estudios concretos para cada cavidad y resultaría de gran interés analizar el interfaz entre ambos ambientes, puesto que las comunidades resultantes podrían aportar una originalidad extraordinaria.

El problema de solapamiento es planteado en sentido inverso por Policarp Garay y Pedro Robledo en la ficha 8330 de la siguiente manera:

“Al examinar la ficha descriptiva del tipo de hábitat 8330 “cuevas marinas sumergidas o semisumergidas” (MIMAM, 2005), se pone de relieve que, aunque la falta de luz limita el desarrollo de los organismos fotosintéticos, relegados a los fondos marinos adyacentes, en cambio se trata

de un tipo de hábitat muy rico en fauna marina de elevado interés científico, formado en parte por especies de hábitos nocturnos y que usan las cuevas como refugios durante el día, aunque también las hay que son “casi exclusivamente cavernícolas”. Asimismo, indica la ficha que las paredes de las cuevas están revestidas por invertebrados epibentónicos sésiles, como esponjas, cnidarios, tuncados, etc. Claramente, toda la descripción de la ficha se refiere al carácter marino del hábitat y de su fauna, aunque también incluye un conjunto de pequeños crustáceos cavernícolas de elevado interés biogeográfico. El hecho de que el mapa de distribución de este tipo de hábitat se restrinja exclusivamente a la superficie marina, y no al dominio marítimo terrestre, parece dejar claro que no incluye ni se extiende a las cavidades litorales o sublitorales, de origen kárstico, que se desarrollan hacia el interior de la línea de costa y en condiciones no marinas, sino freáticas. El límite entre el tipo de hábitat 8310 y el tipo de hábitat 8330 debe, pues, entenderse según se encuentre a uno u otro lado de la interfase agua dulce-agua salada (o más bien agua salada frente al agua dulce o salobre). No obstante, como en el caso anterior, habrá a menudo situaciones intermedias o difíciles de discriminar. La verdadera duda se planteará en la zona de transición: ¿son las aguas anquihalinas y su particular fauna estigobia más propias del hábitat 8338 que del 8310? (quizá sea más coherente inclinarse por lo contrario)”.

Sin embargo, las influencias marinas, freáticas en particular y ambientales en general, sobre las cuevas kársticas litorales son fundamentales y quizá con un papel más importante en la zonificación del tipo de hábitat de lo que se piensa a priori. De hecho, Ginés, *et al.* en Fornós, Ginés & Gómez-Pujol (eds.) (2007), se ocupan de las interferencias entre el endokarst costero y el modelado litoral. Desde luego, es un tema de bastante interés y con relativamente abundante bibliografía desde principios de los años 80 (*Op. cit.*). Estos autores fundamentan la gran relación entre estos dos ambientes en el carácter inestable —a escala geológica— del nivel de las aguas marinas, lo que influye claramente sobre la evolución del endokarst costero. Anotan igualmente que las interacciones entre el nivel marino y la morfogénesis subterránea en las costas calcáreas se concretan en dos grandes grupos de consecuencias: uno de índole activo, centrado en el papel del mar

como nivel de base que controla los mecanismos de erosión kárstica y la dinámica litoral en las costas carbonatadas; el segundo grupo, de interferencias pasivas, estaría muy relacionado con el alcance y modelado por paleoniveles marinos. Por ejemplo, la Cova de Cala Falcó (Manacor, Mallorca) es una cueva marina que ha capturado un fenómeno kárstico preexistente, y la Cova de na Mitjana, en Capdepera, Mallorca, es una cueva kárstico-marina con sedimentos y formas relacionados con los cambios del nivel relativo del mar Mediterráneo.

Entonces, las comunidades faunísticas de ocupación de estas cavidades podrían haberse visto afectadas por estos cambios y obligadas a adaptarse o recolonizar nuevos espacios, por lo que la acción marina estaría influyendo notablemente en estos ambientes, como anotan los propios Garay y Robledo para el subtipo 1.d. subtipo kárstico sublitoral de la ficha del tipo de hábitat 8310, en la que además de la oscuridad, incluyen como exigencias ecológicas la influencia tidal y procesos de “karst costero”, y los cambios de salinidad (dulce-transición-salobre).

Para finalizar, se incluye una tabla (ver tabla 1.1) de Ginés, *et al.* en Fornós, Ginés & Gómez-Pujol (eds.) (2007), en la que aparece un listado de interferencias entre los dos modelados y que condicionan, por lo tanto, el hábitat en sí mismo.

Otro problema de interpretación que se plantea es el de las interferencias con el tipo de hábitat 1230 Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas, en lo que se refiere a determinadas geofomas que representan diferentes estadios evolutivos de las cuevas costeras y comparten una génesis con las mismas, siendo sin embargo formas más abiertas y menos sujetas a la oscuridad como limitante clave de las cavidades costeras en sentido estricto. Se trata de las viseras, los bufaderos, los arcos rocosos costeros y los túneles de dos bocas con conexión continental. Su inclusión en la presente ficha se plantea desde dos tipos de justificaciones:

- La primera, que se trata de geofomas que no constituyen ejemplo tipológico en el tipo de hábitat 1230, sino parte integrante de la geofoma general (acantilado) sujeta a caracterización y clasificación en el mismo. Y, en este sentido, las cuevas marinas semisumergidas son también parte de esa geofoma general objeto del 1230.

Hidrología	<ul style="list-style-type: none"> • Control marino de la cota de las aguas freáticas litorales • Presencia de lagos de aguas salobres que inundan las cuevas costeras • Control marino del drenaje hacia las surgencias costeras • Procesos de disolución de carbonatos asociados a la zona de mezcla entre aguas continentales y marinas
Morfogénesis	<ul style="list-style-type: none"> • Control marino de las zonas preferenciales de disolución y espeleogénesis • Excavación de cavidades costeras de erosión marina • Captura marina de cuevas de origen kárstico
Rellenos de cavidades	<ul style="list-style-type: none"> • Presencia de sedimentos de origen marino y/o eólico • Presencia de secuencias estratigráficas complejas: sedimentos litorales, brechas kársticas, restos paleontológicos y espeleotemas • Deposición freática de carbonatos controlada por el nivel marino actual o pretérito
Geocronología	<ul style="list-style-type: none"> • Correlaciones altimétricas entre morfogénesis endokárstica y paleolíneas de costa • Datos cronológicos procedentes del registro paleontológico incluido en los sedimentos de las cuevas litorales • Espeleotemas vadosos sumergidos bajo el nivel freático registran eventos climáticos de signo frío • Espeleotemas de origen freático constituyen un excelente registro de los paleoniveles marinos cuaternarios transgresivos y/o regresivos

Tabla 1.1

Algunas consecuencias geomorfológicas de las oscilaciones eustáticas sobre el endokarst litoral.

Al ser las cuevas dotadas de entidad para una ficha diferenciada, creemos de interés incluir el resto de geoformas de evolución o degradación de las mismas en esta ficha para que sean objeto de valoración ecológica.

- El segundo tipo de planteamientos se refiere a que uno de los principales valores de las cuevas marinas es el de actuar como interesantes indicadores paleoclimáticos y de cambios en el nivel marino. Tanto las cuevas como los bufaderos,

túneles, arcos y viseras costeras son incluidos, en su conjunto, por diferentes autores en la recopilación de las principales evidencias geomorfológicas indicadoras de niveles marinos. Por ejemplo, han incidido en este aspecto Gràcia, F. *et al.* en Pons & Guijarro, 2001; Ginés en Pons & Guijarro, 2001; Rodríguez Vidal & Cáceres Puro, 2005; La Roca, Sanjaume & Gol, 2005; Ginés, J. *et al.* en Fornós Ginés, Gómez-Pujol (eds.), 2007; Rodríguez Vidal, 2007.

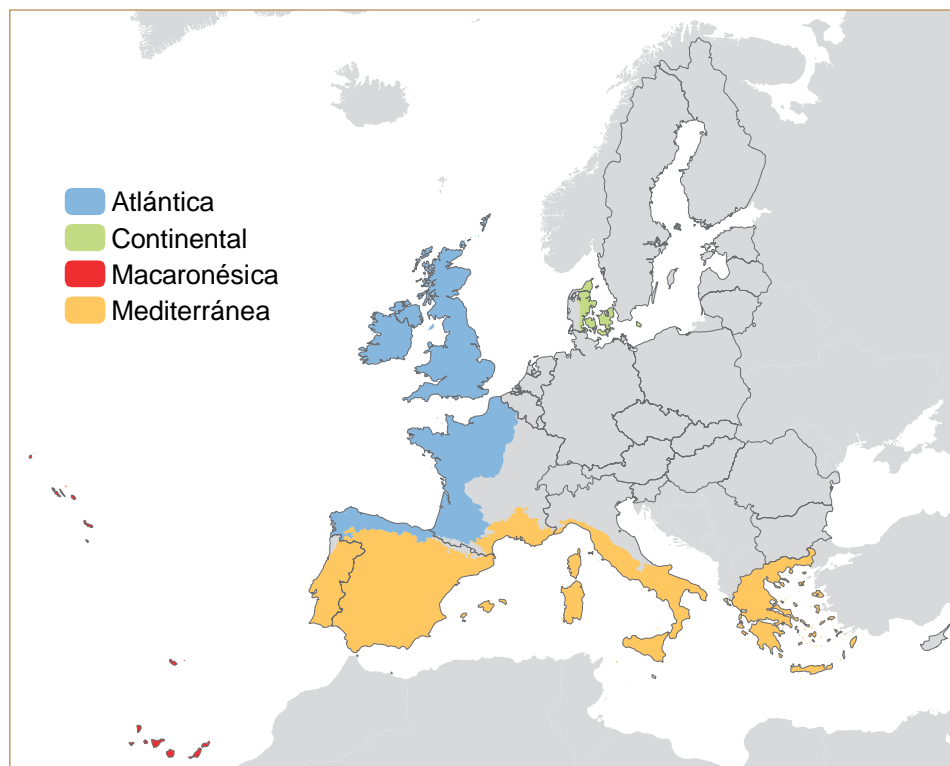


Figura 1.2

Mapa de distribución del tipo de hábitat 8330 por regiones biogeográficas en la Unión Europea.
 Datos de las listas de referencia de la Agencia Europea de Medio Ambiente.



Figura 1.3

Mapa de distribución estimada del tipo de hábitat 8330.
 Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, a fecha de marzo de 2005.

Región biogeográfica	Superficie ocupada por el hábitat (ha)	Superficie incluida en LIC	
		ha	%
Alpina	—	—	—
Atlántica	—	—	—
Macaronésica	1,02	1,02	100,00
Mediterránea	750,38	1,78	0,24
TOTAL	751,40	2,80	0,37

Tabla 1.2

Superficie ocupada por el tipo de hábitat 8330 por región biogeográfica, dentro de la red Natura 2000 y para todo el territorio nacional.
 Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, marzo de 2005.

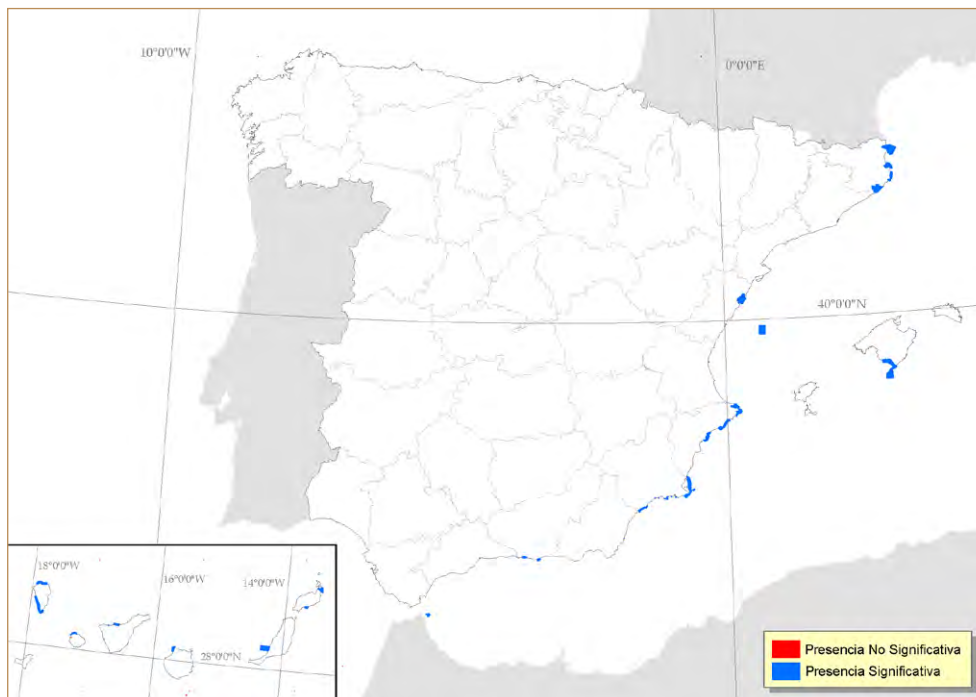


Figura 1.4

Lugares de Interés Comunitario en que está presente el tipo de hábitat 8330.
 Datos de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.

Región biogeográfica	Evaluación de LIC (número de LIC)				Superficie incluida en LIC (ha)
	A	B	C	In	
Alpina	—	—	—	—	—
Atlántica	—	—	—	—	—
Macaronésica	3	1	1	6	262,34
Mediterránea	10	5	1	—	1.243,30
TOTAL	13	6	2	6	1.505,64

A: excelente; B: bueno; C: significativo; In = no clasificado.

Datos provenientes de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.

Tabla 1.3

Número de LIC en los que está presente el tipo de hábitat 8330, y evaluación global de los mismos respecto al tipo de hábitat. La evaluación global tiene en cuenta los criterios de representatividad, superficie relativa y grado de conservación.

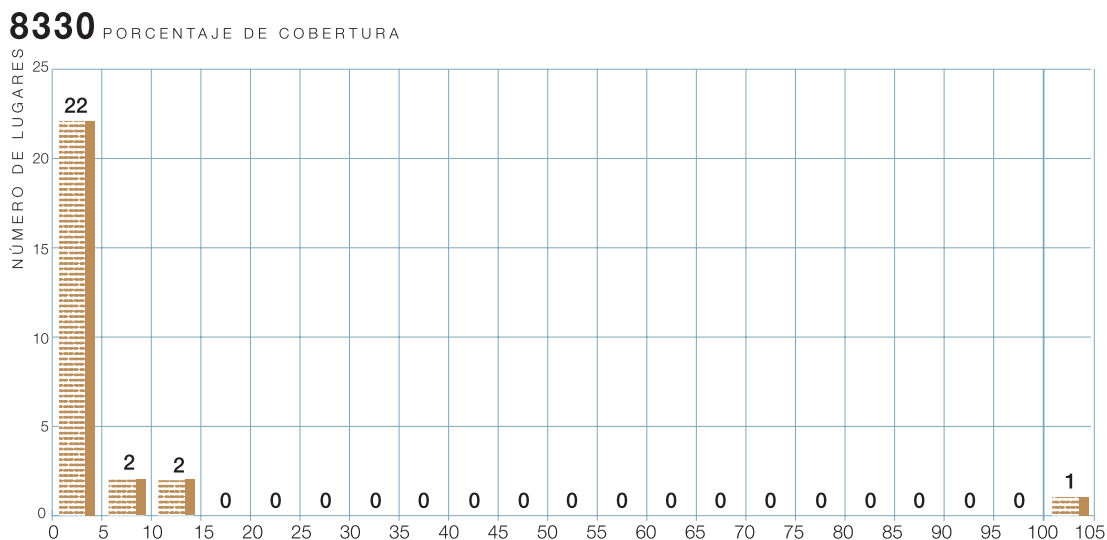


Figura 1.5

Frecuencia de cobertura del tipo de hábitat 8330 en LIC.

La variable denominada *porcentaje de cobertura* expresa la superficie que ocupa un tipo de hábitat con respecto a la superficie total de un determinado LIC.

		ALP	ATL	MED	MAC
Andalucía	Sup.	—	—	—	—
	LIC	—	—	18,75%	—
Canarias	Sup.	—	—	—	100%
	LIC	—	—	—	100%
Cataluña	Sup.	—	—	<0,001%	—
	LIC	—	—	25,00%	—
Ceuta	Sup.	—	—	—	—
	LIC	—	—	6,25%	—
Comunidad Valenciana	Sup.	—	—	99,99%	—
	LIC	—	—	37,50%	—
Islas Baleares	Sup.	—	—	—	—
	LIC	—	—	6,25%	—
Melilla	Sup.	—	—	—	—
	LIC	—	—	6,25%	—
Región de Murcia	Sup.	—	—	—	—
	LIC	—	—	6,25%	—

Sup.: porcentaje de la superficie ocupada por el tipo de hábitat de interés comunitario en cada comunidad autónoma respecto a la superficie total de su área de distribución a nivel nacional, por región biogeográfica.

LIC: porcentaje del número de LIC con presencia significativa del tipo de hábitat de interés comunitario en cada comunidad autónoma respecto al total de LIC propuestos por la comunidad en la región biogeográfica. Se considera presencia significativa cuando el grado de representatividad del tipo de hábitat natural en relación con el LIC es significativo, bueno o excelente, según los criterios de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000.

Datos del *Atlas de los Hábitat de España*, marzo de 2005, y de los formularios normalizados de datos de la red Natura 2000, enero de 2006.

Tabla 1.4

Distribución del tipo de hábitat 8330 en España por comunidades autónomas en cada región biogeográfica.

1.4. DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

La abundancia de cuevas en las diferentes litologías existentes en la costa española dificulta la descripción geográfica de la distribución de esta geoforma. Plantaremos así la descripción de los diferentes dominios litológicos de las costas rocosas de la misma manera que las presentamos en el tema de los acantilados rocosos atlánticos y mediterráneos.

La costa atlántica peninsular

■ La cornisa cantábrica: costa vasca, cántabra y asturiana

La costa del País Vasco y Cantabria está caracterizada por tener materiales mesozoicos y cenozoicos, principalmente calizas, dolomías margas y conglomerados. Materiales similares, aunque más antiguos, afloran en el este de Asturias, y sólo empiezan a aflorar pizarras, cuarcitas y areniscas a partir de Cabo Peñas, hasta prácticamente la Ría de Viveiro. La variedad litológica, junto con el control estructural, es uno de los factores dominantes en casi toda la costa cantábrica. A ello se suma que ha experimentado movimientos corticales a lo largo de buena parte de su historia geológica, aparentemente más intensos hacia el este. La diversidad litológica se traduce en la existencia de perfiles muy variados, y sobre todo en un escalonamiento topográfico causado por el levantamiento de antiguas superficies erosivas marinas, las denominadas “rasas”¹.

■ Costa gallega

Siguiendo a López Bedoya & Pérez Alberti, 2006a, la costa gallega atesora, en sus aproximadamente 1.400 km de longitud, variados ambientes geomorfológicos y medioambientales. Es marcadamente irregular, en concordancia con una dilatada historia geológica de episodios tectónicos, cambios paleoclimáticos y procesos erosivos de carácter diferencial. Es posible contraponer, a grandes rasgos, dos tipos generales de costa, en los cuales el comportamiento hidrodinámico y los factores geomorfológicos son distintos:

La *costa de rías*, en la que los aparatos estuarinos responden genéticamente, en general, a una multiplicidad de factores, de los cuales el tectónico tiene gran importancia en su génesis, el litológico o de erosión diferencial define a grandes rasgos el dibujo y amplitud de la misma, y el paleoclimático condiciona las formas de detalle y la distribución de ambientes.

La *costa externa*, que está constituida por una sucesión de tramos acantilados rocosos y sectores de costa baja en donde predomina la acumulación sedimentaria. En los tramos rocosos se desarrollan acantilados, cuyos parámetros físicos están en función de la litología, la estructura y los depósitos acumulados por la alternancia de períodos interglaciares-glaciares durante el Cuaternario. Esta gran cantidad de materiales fue la fuente que las últimas pulsaciones marinas positivas utilizaron para construir aparatos sedimentarios. Éstos, cordones dunares y playas, se ubicaron en senos anteriormente vaciados por erosiones diferenciales de tipo marino y continental. Algunos entrantes evolucionaron hacia lagunas costeras que hoy pueden presentar diferentes grados de colmatación.

Desde el punto de vista litológico, la principal característica diferenciadora de la costa atlántica gallega es la gran extensión de afloramientos graníticos en la costa, materiales que no aparecen en el resto de las costas atlánticas y muy escasamente en las mediterráneas. Los materiales graníticos tienen su mayor extensión en la costa atlántica, desde el norte del Golfo Artabro hasta la desembocadura del Miño, estando mucho menos representados en la costa cantábrica, con pequeños afloramientos en los sectores de Bares y San Cibrao. En el extremo noroccidental, entre las rías de Cedeira y de Ortigueira, se disponen los materiales del complejo de Cabo Ortegá, compuestos de rocas básicas, eclogitas y serpentinitas.

Un segundo factor de enorme importancia en todos los procesos costeros en Galicia, y por supuesto también en las costas rocosas, es el carácter sumamente recortado que presenta la costa en planta.

¹ Aunque el término *rasa* se ha utilizado y se utiliza profusamente en la literatura científica, es recomendable ser precavido al catalogar formas litorales. El término se ha utilizado para definir superficies de erosión litoral, denominadas demasiado a menudo como superficies de abrasión, levantadas respecto al nivel del mar actual generalmente por procesos tectónicos o isostáticos. Sin embargo, la mera existencia de superficies de escasa pendiente adyacente a acantilados actuales, o próximas a la línea de costa, no es criterio para identificarlas como antiguas superficies litorales. En ausencia de evidencias morfológicas (paleoacantilados, balsas o depósitos claramente marinos), la topografía de escasa pendiente no puede ser definitiva.

Ello implica una gran diversidad en el grado de exposición al oleaje, incluso entre puntos situados a muy poca distancia entre sí. En el caso de las Rías Bajas o de amplios senos como el Golfo Artabro (formado por las rías de A Coruña, Betanzos y Ares), al factor de orientación se une la existencia de *fetch* sumamente cortos, lo que impide el desarrollo de mar de viento en su interior.

Por tramos, en la costa gallega se suceden los siguientes grandes tramos diferenciados: una costa de acantilados bajos con acumulaciones asociadas, que engloba el tramo de costa que se alarga entre el Cabo Silleiro y A Guarda, en la provincia de Pontevedra; a ésta le sigue una costa de rías, con encadenamiento de acantilados altos y bajos, a lo largo de las Rías Baixas, es decir, las rías de Vigo, Pontevedra, Arousa y Muros y Noia; entrando ya en la provincia de A Coruña, aparece una costa sinuosa de acantilados altos, bajos y sedimentos cuaternarios asociados, que se denomina Costa da Morte; hacia el norte, el Golfo Ártabro dibuja una costa lobulada con acantilados bajos; sigue una costa rectilínea con acantilados altos y mega-acantilados, que abarca la costa ferrolana y la del sector Prioriño-Ortegal; antes de salir de la provincia de A Coruña para ingresar en la lucense, aparece un último tramo formado por una costa mixta con acantilados bajos y altos entre el Cabo Ortegal y la Punta de Estaca de Bares; ya en Lugo, aparecen dos tipos: una costa en sierra con acantilados altos, correspondiente a la comarca de A Mariña Occidental, y una costa lineal con acantilados altos que se desarrolla en las comarcas de A Mariña Central y A Mariña Oriental, además de la parte occidental de Asturias.

■ Costa atlántica andaluza

La costa atlántica andaluza se desarrolla entre la desembocadura del río Guadiana, en la localidad onubense de Ayamonte, frente a las costas portuguesas de Algarve, y la Punta Tarifa. Se encuentran representadas dos provincias, la de Huelva y la de Cádiz. Destaca, en su conjunto, por las grandes formaciones sedimentarias costeras marismas, dunas y playeras, de dimensión kilométrica, pero también alberga interesantes tramos costeros, sobre todo en la provincia de Cádiz.

El litoral onubense es orográficamente suave y encadena amplios entrantes marinos asociados a la

desembocadura de los ríos principales. La elevada dinamicidad y la gran disponibilidad de materiales trae en consecuencia una costa muy activa, compuesta por grandes formaciones arenosas. Tras el máximo flandriense, hacia el 6500BP (Rodríguez, Cáceres & Rodríguez, 2000) se han ido construyendo y depositando esas grandes formaciones sedimentarias –marismas, flechas arenosas, conjuntos dunares- a partir de la erosión sobre el sustrato preholoceno y el aporte fluvial. Así, se ha reducido fuertemente la longitud de tramos acantilados. Ésta queda, hoy en día, reducida al tramo existente en El Asperillo, siendo acantilados labrados en materiales limosos y arcillosos y que evolucionan rápidamente a partir de deslizamientos rotacionales y colapsos con un retroceso bastante elevado.

Para la presentación geográfica de la costa gaditana se ha ajustado al trabajo realizado por del Río, *et al.*, “*Los espacios protegidos de la costa gaditana*”, capítulo 5 de la obra recogida en la bibliografía como Gracia, 2008.

La localización y morfología de los acantilados gaditanos depende de la dinámica costera y, sobre todo, del factor geológico, tanto por la tectónica como por los materiales constituyentes (del Río & Gracia, 2005). Esta situación origina una gran variedad morfológica y dinámica en los acantilados, incluyendo tramos de costa arenosa con acantilados bajos traseros, como en la zona de Aguadulce-La Ballena (entre Chipiona y Rota), hasta tramos con acantilados de gran altura que caen directamente sobre el mar, como en La Breña (Barbate).

La costa atlántica del archipiélago de las Islas Canarias

Para esta descripción de la distribución geográfica se ha utilizado el texto realizado por Amalia Yanes Luque y Ester Beltrán Yanes para la ficha 1250, “*Acantilados con vegetación endémica de las costas macaronésicas*”. Se aporta el texto a continuación. Para conocer las categorías se insta a la lectura de la propia ficha 1250.

“Presentes en mayor o menor medida en todas las islas, la distribución geográfica de los tres tipos de costas acantiladas reseñadas no responde a un mismo patrón locacional, pues varía de unas a otras el emplazamiento de las estructuras volcánicas en las

que han sido labradas. De esta forma, la distribución en cuestión es, *grosso modo*, la que sigue.

■ **Costa con acantilados altos, muy altos y megaacantilados sobre estructuras volcánicas complejas y litología antigua**

Representativos de esta primera categoría son, en líneas generales, los existentes en:

- *Categoría 1.1:* costa NE, N y NW de **Tenerife** (tramos entre Santa Cruz y Valle Guerra; entre Icod de Los Vinos y Puerto Santiago).
- *Categoría 1.2:* costa E, N y W de **La Palma** (tramos entre Santa Cruz, Garafía y Tazacorte).
- *Categoría 1.3:* costa NE, N y SW de **La Gomera** (tramos entre Punta Majona, Arguamul y Valle Gran Rey).
- *Categoría 1.4:* costa E, N y NW de **El Hierro** (tramos entre Las Playas, El Gofu y Hoya del Verodal).
- *Categoría 1.5:* costa NW, SW, S y SE de **Lanzarote** (tramos entre Punta Fariones y Caleta de Famara; entre Salinas de Janubio y Bahía de Ávila).
- *Categoría 1.6:* costa W, S y SE de **Fuerteventura** (tramos entre Puerto Molinos, Istmo de La Pared y Jacomar).
- *Categoría 1.7:* costa SW, W y NW de **Gran Canaria** (tramos entre Arguineguin y Agaete).

■ **Costa con acantilados altos y bajos sobre estructuras volcánicas simples y litología reciente**

Representativos de esta segunda categoría son, en líneas generales, los existentes en:

- *Categoría 2.1:* costa N, E y S-SW de **Tenerife** (tramos entre Tacoronte y Buenavista; entre Santa Cruz y Arafo; entre Arico y Puerto Santiago).
- *Categoría 2.2:* costa E, S y W de **La Palma** (tramos entre Santa Cruz, Fuencaliente y Tazacorte).
- *Categoría 2.3:* costa S, SE y E de **La Gomera** (tramos entre Valle Gran Rey, Playa Santiago y Punta Majona).
- *Categoría 2.4:* costa NE-N, S y W de **El Hierro** (tramos entre Tamaduste, El Golfo y Hoya del Verodal; entre Las Playas, El Julan y Orchilla).
- *Categoría 2.5:* costa E, NE y W de **Lanzarote** (tramos entre Bahía de Ávila y Punta Fariones;

entre Caleta de Famara y Salinas de Janubio).

- *Categoría 2.6:* costa N y E de **Fuerteventura** (tramos entre Tostón y Corralejo; entre Puerto del Rosario y Jacomar).
- *Categoría 2.7:* costa NE y N de **Gran Canaria** (tramos entre La Isleta y Punta Sardina).
- *Categoría 2.8:* costas de **Lobos, La Graciosa, Alegranza, Montaña Clara y Roques del Este y del Oeste**.

■ **Costa con acantilados altos y bajos sobre depósitos sedimentarios terrestres y/o marinos antiguos y recientes**

Representativos de esta tercera categoría son, en líneas generales, los existentes en:

- *Categoría 3.1:* costa NE-N, SE y W de **Tenerife** (tramos entre Santa Cruz y Buenavista; entre Arico y Puerto Santiago).
- *Categoría 3.2:* costa NE, N y W de **La Palma** (tramos entre Santa Cruz, Punta Cumplida y Tazacorte).
- *Categoría 3.3:* costa E, N y W de **La Gomera** (tramos entre Puntallana, Agulo y Arguamul; entre Alojera y Valle Gran Rey).
- *Categoría 3.4:* costa E y N de **El Hierro** (Las Playas; tramos de El Golfo).
- *Categoría 3.5:* costa NE, E-SE y W-NW de **Gran Canaria** (tramos entre Las Palmas y Arguineguin; entre Andén Verde y Agaete).
- *Categoría 3.6:* costa NW, W y SE de **Lanzarote** (tramos entre Famara y La Santa; entre Punta de Papagayo y Bahía de Ávila).
- *Categoría 3.7:* costa W, SW y SE de **Fuerteventura** (tramos entre Puerto de Los Molinos y Chilegua; península de Jandía)."

Costa acantilada mediterránea

Para la descripción de los acantilados mediterráneos, geoforma en la que se incluyen las cuevas costeras de la costa mediterránea, se ha utilizado la descripción realizada por Pau Balaguer Huguet, Lluís Gómez-Pujol y Joan Joseph Fornós Astò para la ficha 1240 *Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con Limonium spp. endémicos*. Se reproducen aquí sus textos:

“La distribución del tipo de hábitat *Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con Limonium*

spp. endémicos se centra, tal y como su nombre indica, en la ribera mediterránea. En el estado español, la ribera mediterránea comprende las comunidades autónomas de Andalucía, Región de Murcia, Comunidad Valenciana, Catalunya e Illes Balears. El tipo de hábitat que nos ocupa puede manifestarse en cualquier frente o pared de acantilado costero de cualquiera de estas comunidades autónomas, así como también en las zonas de Ceuta y Melilla e Islas Columbretes.

Desde una perspectiva macroescalar hacia una de mayor detalle, podemos diferenciar dos zonas principales del estado español donde se desarrolla este tipo de hábitat: la Península Ibérica y las zonas insulares.

Definiendo con mayor precisión la distribución de este tipo de hábitat mediterráneo, se pueden diferenciar 13 zonas referidas a ámbitos geográficos concretos. La mención de estas 13 zonas no excluye la posibilidad de encontrar desarrollado este tipo de hábitat en otro ámbito geográfico. A continuación se especifican una serie de detalle, de cada una de estas 13 zonas en las que aparece el tipo de hábitat que nos ocupa:

Zona 1. Norte de Catalunya. Esta zona se extiende desde la zona de Portbou de manera prácticamente ininterrumpida hasta la zona de Tossa de Mar, Lloret de Mar y Blanes. Podría decirse que este tipo de hábitat se desarrolla en buena parte de las costas acantiladas de la Costa Brava.

Zona 2. Sur de Catalunya. Se extiende desde el sur del núcleo de Castelldefels, en las inmediaciones del Parc Natural del Garraf, hasta la zona del Cap Roig (Tarragona) al norte del Delta del Ebro. En esta zona el hábitat no presenta una distribución aparentemente tan uniforme como en la anterior. En las que con mayor probabilidad se desarrolla este hábitat son los tramos costeros correspondientes a los acantilados de la zona de Garraf (entre los núcleos de Castelldefels y Sitges), algunos puntos del litoral localizados entre Sitges y Vilanova i la Geltrú, la zona de Santa Lluçia (al sur de Vilanova i la Geltrú), algunos puntos de la costa de Tamarit, Torredembarra y Coma-ruga, las costas altas o acan-

tiladas de Salou y La Pineda, algunos sectores litorales, muy puntuales, al sur de Cambrils y el tramo costero comprendido entre la Urbanización Llastres y el Cap Roig.

Zona 3. Sur de Catalunya – Castellón de la Plana. Esta zona está delimitada entre las inmediaciones de Sant Carles de la Ràpita (Tarragona) y la zona del Palasiet (Castellón de la Plana). Los enclaves costeros con mayor probabilidad de encontrar este tipo de hábitat son: las inmediaciones de Sant Carles de la Ràpita, el tramo litoral comprendido entre el Alcanar (Tarragona) y la Urbanización del Abanico (Castellón), algunos puntos de las vertientes marítimas de la Sierra de Irta, algunos puntos dispersos de los litorales del Parc Natural del Prat de Cabanes-Torreblanca, Torre de la Sal, Oropesa del Mar y el Palasiet.

Zona 4. Islas Columbretes. Este tipo de hábitat puede encontrarse en buena parte del archipiélago de las Columbretes, tanto en l'Illa Grossa, en el Mancolibre, el Mascara y la Ferrera e islas e islotes menores que presenten escarpes y acantilados de cierta consideración.

Zona 5. Se trata de una serie de enclaves costeros muy puntuales localizados en el segmento litoral comprendido entre el Dosel (sur del Parque Natural de la Albufera de Valencia) y la zona del Racó. El hábitat que nos ocupa se distribuye a lo largo del litoral del hito geográfico llamado El Faro.

Zona 6. Alicante. Este sector de distribución homogénea del hábitat se extiende a lo largo del tramo litoral comprendido entre los acantilados localizados entre Dénia y el Cabo de Sant Antoni y la zona de Pínomar – La Mata (al norte de Torreveja). Las subzonas con mayor presencia de este hábitat se localizan en los siguientes tramos costeros: segmento litoral comprendido entre Dénia y el Cabo de Sant Antoni, tramo litoral comprendido entre la zona del Sur de Jávea, el Portixol, Cabo de la Nao, los acantilados del núcleo de Moraira hasta alcanzar las vertientes marítimas

del Parque del Peñón de Ifach, la zona de la Talaia (al sur de Calpe), el tramo litoral comprendido entre el núcleo de l'Albir y la parte más oriental del núcleo de Benidorm, zona de Torres (NE de Villajoyosa), inmediaciones de Pueblo Acantilado, algunos puntos al sur del Núcleo de el Campillo, inmediaciones del Faro (este de Alicante, en el Residencial Venecia IV), en el tramo costero comprendido entre los Arenales del Sol y las Casas del Cap y algunos puntos de las costas acantiladas localizadas entre la Mata y el norte del Núcleo de Torrevieja.

Zona 7. Murcia. Se trata de otro sector bastante homogéneo cuya distribución del tipo de hábitat que nos ocupa, se desarrolla en las costas de la Comunidad Autónoma de Murcia. La distribución general del hábitat comprende entre la zona de Veneziaola (flanco sur de la bocana de la Manga del Mar Menor) y la zona del núcleo de Águilas (ver figura 1.6). Detallando más la escala, los enclaves costeros en donde podemos encontrar este tipo de hábitat son: en las inmediaciones de la zona de la Veneziaola (flanco sur de la bocana de la Manga del Mar Menor), sector litoral comprendido entre el Cabo de Palos y Portman, los acantilados marinos de la zona de Valle de Escombreras, el sector litoral comprendido entre el sur de Cartagena, zona de El Portús, hasta el Puntal de la Azohia, algunos puntos de las costas del sur de Mazarrón, Urbanización Bahía y el Castellar, puntos dispersos en el tramo costero comprendido entre el Bolnuevo y

Calnegre, en las costas de Calnegre, Cabo Cope y Puntas de Calnegre y costas altas y acantiladas comprendidas entre las inmediaciones de la urbanización Todosol y el Núcleo de Águilas (inclusive).

Zona 8. Almería. Al igual que la zona anterior, se trata de otra zona de distribución homogénea de este hábitat en las costas de la provincia de Almería. La distribución del hábitat se desarrolla principalmente entre el sur de la central térmica de Carboneras y el Cabo de Gata (figura 1.6). Los enclaves en los que se desarrolla este hábitat son: en las costas comprendidas entre las inmediaciones del sur de la central térmica de Carboneras, los acantilados de la Mesa de Roldán hasta la parte oriental del núcleo de Agua Amarga, el sector litoral comprendido entre el sur del núcleo de Agua Amarga y el Cabo de San Pedro, en las costas acantiladas cercanas al núcleo de las Negras, los acantilados marinos localizados en las inmediaciones de los núcleos de la Isleta y de los Escollos, en las inmediaciones de las costas de San José, y prácticamente en la totalidad de las costas orientales y nororientales del Cabo de Gata.

Zona 9. Granada - Málaga. Esta zona se extiende a lo largo de una serie de tramos litorales acantilados de las provincias de Granada y Málaga. En esta zona el tipo de hábitat se extiende desde las zonas de la Rábida (Granada) hasta las zonas de Torremolinos-Benalmádena (ver figura 1.6). Con mayor detalle puede especificarse que el hábitat se localiza en los tramos costeros

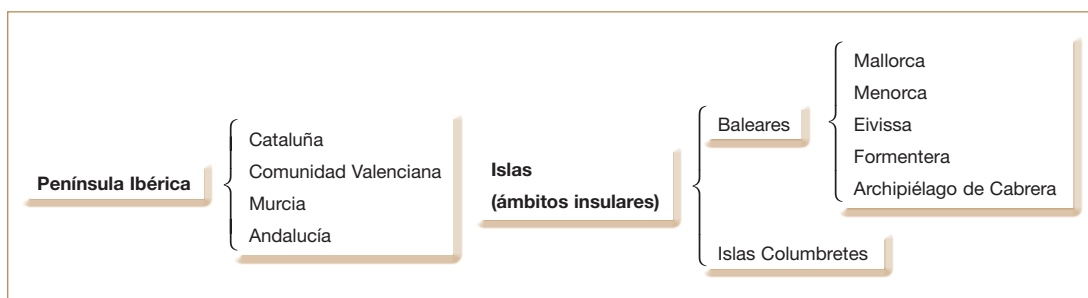


Figura 1.6

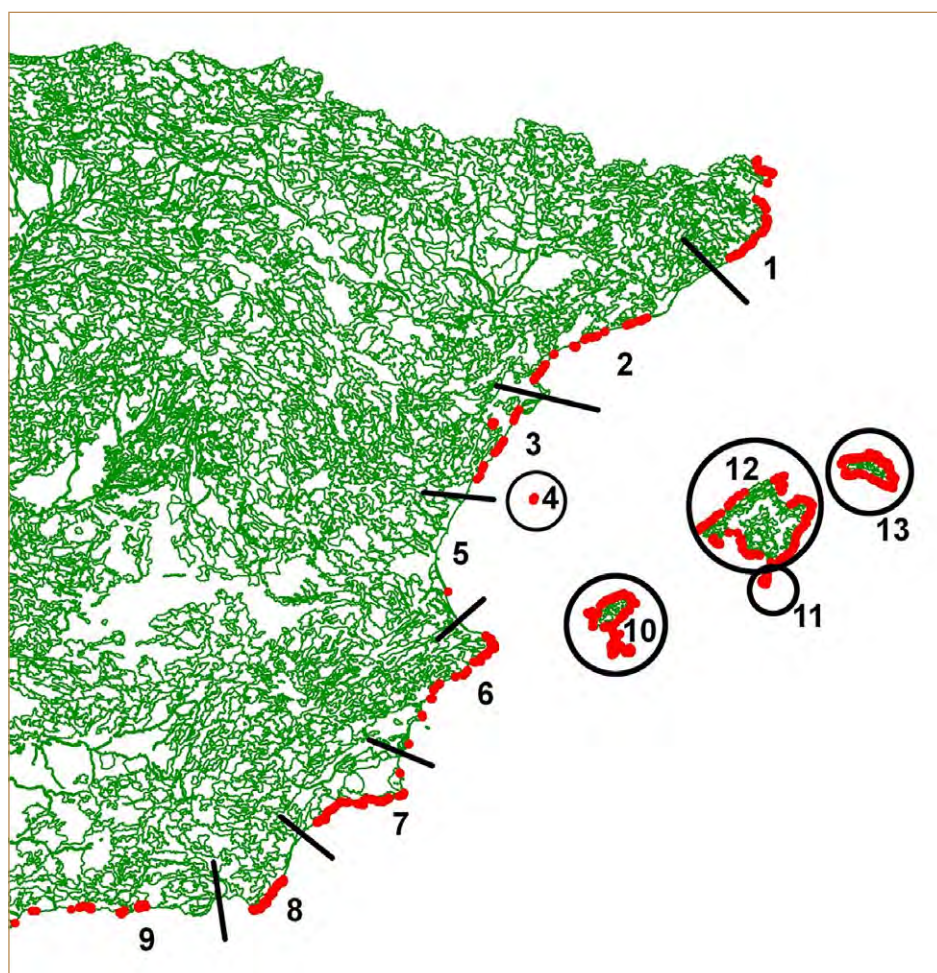
Esquema de la distribución, desde una perspectiva macroescalar, del tipo de hábitat Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con *Limonium* spp. endémicos.

comprendidos entre la Rábita y las costas de Castillo de Baños, en las inmediaciones de la Torre Nueva (Granada), en el tramo litoral comprendido entre el flanco occidental de La Herradura y las inmediaciones de la Playa de Salón (Málaga), en la Punta de Torrox, en las inmediaciones del Rincón de la Victoria y Cala del Maral (al este del núcleo urbano de Málaga) y en las costas rocosas acantiladas de las zonas cercanas a Torremolinos y Benalmádena.

Zona 10. Eivissa y Formentera. Las islas de Eivissa y Formentera (Illes Balears) constituyen esta zona de distribución del tipo de hábitat que nos ocupa (ver figura 1.6). En cuanto a la isla de Eivissa, la mayor parte de su

litoral, es rocoso y suele presentar alturas correspondientes a costas altas y acantiladas. En la isla de Formentera, a pesar a de la aparente abundancia de depósitos de playa costas bajas, las costas altas (con alturas mayores a los 3 m) constituyen entre un 45% y un 50% del total de la línea de costa. Según unas estimaciones hechas a partir de trabajos correspondientes a una clasificación de la línea de costa (IMEDEA, 2007) teniendo en cuenta la respuesta de los materiales frente a un posible vertido de hidrocarburos, los acantilados con vegetación con *Limonium* spp. en Eivissa pueden desarrollarse entre un 57,5% y un 38,9% del litoral y en Formentera entre un 41,5% y un 31,6% del litoral. Se considera que aproximadamente éste es el umbral de extensión en el que este tipo de hábitat se podría desarrollar.

Figura 1.7
Zonificación utilizada para establecer el ámbito de distribución de los Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con *Limonium* spp. endémicos.



Zona 11. Archipiélago de Cabrera. El Archipiélago de Cabrera (Illes Balears) constituye esta zona de distribución del tipo de hábitat que nos ocupa. La mayor parte del litoral del archipiélago es rocoso y buena parte del litoral formado por materiales no consolidados (playas y costas de acumulación) suele corresponder a playas de cantos, gravas y guijarros. El litoral rocoso del Archipiélago de Cabrera suele presentar alturas correspondientes a costas altas y acantiladas. Según unas estimaciones hechas a partir de trabajos correspondientes a una clasificación de la línea de costa teniendo en cuenta la respuesta de los materiales frente a un posible vertido de hidrocarburos, los acantilados con vegetación con *Limonium spp.* pueden desarrollarse entre un 82,1% y un 74% del litoral, siendo la zona de las Illes Balears con una mayor extensión potencial en la que puede desarrollarse este tipo de hábitat.

Zona 12. Mallorca. La isla de Mallorca (Illes Balears) constituye otra zona de distribución del tipo de hábitat que nos ocupa. La mayor parte del litoral de la isla es rocoso y suele presentar alturas correspondientes a costas altas y acantiladas. Se estima que alrededor de un 80% del litoral está formado por costas rocosas, un 10% por costas formadas por materiales no consolidados (la mayor parte playas de arena) y el 10% restante,

aproximadamente, lo constituyen costas modificadas por la acción del hombre. Según unas estimaciones hechas a partir de trabajos correspondientes a una clasificación de la línea de costa teniendo en cuenta la respuesta de los materiales frente a un posible vertido de hidrocarburos, los acantilados con vegetación con *Limonium spp.* puede desarrollarse entre un 51,5% y un 40,1% del litoral. Se considera que aproximadamente éste es el umbral de extensión en el que este tipo de hábitat se podría desarrollar.

Zona 13. Menorca. La última zona en la que hemos dividido el hábitat la constituye la isla de Menorca. La mayor parte del litoral de la isla es rocoso y suele presentar alturas correspondientes a costas altas y acantiladas (> 3 m de altura). La distribución de acantilados es prácticamente a lo largo de la mayor parte del perímetro de la isla. Según unas estimaciones hechas a partir de trabajos correspondientes a una clasificación de la línea de costa teniendo en cuenta la respuesta de los materiales frente a un posible vertido de hidrocarburos, los acantilados con vegetación con *Limonium spp.* pueden desarrollarse entre un 52,7% y un 36,7% del litoral. Se considera que aproximadamente éste es el umbral de extensión en el que este tipo de hábitat se podría desarrollar.



2. CARACTERIZACIÓN ECOLÓGICA

2.1. REGIONES NATURALES

Existe un problema para la determinación de la superficie ocupada en la actualidad por las cuevas sumergidas y semisumergidas en el litoral español, y ello se refiere a su falta de tratamiento en este sentido. En los datos que aporta el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino, actualizados en 2004-2005, a partir del análisis de ortofotos y mapas, no aparece este tipo de hábitat al no ser visible. Su cartografiado y localización, como se indica en el apartado de seguimiento de la superficie ocupada, deberán ser una prioridad para establecer esta extensión. El tipo de hábitat general en el que se incluyen estas geoformas es el de los acantilados costeros, que sí cuentan con información en este sentido. Puesto que, como queda especificado en los apartados correspondientes, la mayor parte de los tramos acantilados son susceptibles de evolucionar parcialmente con un sistema de cuevas, se presentarán entonces los datos de los diferentes tipos de acantilados costeros, como ambiente de potencial desarrollo de las cuevas costeras.

Nivel 1. Regiones naturales

- 2 (Atlántica) (tipo de hábitat 1230): 1.250,36.
- 3 (Mediterráneo y Golfo de Cádiz) (tipo de hábitat 1240): 431,17.
- 4 (Archipiélago Canario) (tipo de hábitat 1250): 115,11.

Sí existe superficie de referencia para el tipo de hábitat 8330: 1,02.

Nivel 2

- 211 (tipo de hábitat 1230): 31,19.
- 222 (tipo de hábitat 1230): 1.219,17.
- 311 (tipo de hábitat 1240): 216,36.
- 321 (tipo de hábitat 1240): 0,77.
- 331 (tipo de hábitat 1240): 214,05.

- 11 (tipo de hábitat 1250): 25,89.
- 12 (tipo de hábitat 1250): 0,05.
- 13 (tipo de hábitat 1250): 89,16.

Sí existe superficie de referencia para el tipo de hábitat 8330: 1,02.

- 21 (tipo de hábitat 1250): 72,11.
- 22 (tipo de hábitat 1250): 50,70.
- 23 (tipo de hábitat 1250): 14,93.

Nivel 3

- 2111 (Galicia) (tipo de hábitat 1230): 31,19.
- 2221 (Cantabria) (tipo de hábitat 1230): 533,38.
- 2223 (Galicia norte y Asturias) (tipo de hábitat 1230): 685,79.
- 3111 (Huelva - Ayamonte) (tipo de hábitat 1240): 2,06.
- 3112 (Almería - Granada - Málaga) (tipo de hábitat 1240): 109,70.
- 3114 (Valencia - Baleares) (tipo de hábitat 1240): 103,64.
- 3115 (norte prov. Cádiz) (tipo de hábitat 1240): 0,06.
- 3116 (Huelva - Doñana) (tipo de hábitat 1240): 0,90.
- 3211 (sur prov. Cádiz) (tipo de hábitat 1240): 0,77.
- 3311 (Gerona-Barcelona) (tipo de hábitat 1240): 47,08.
- 3313 (Barcelona - Tarragona) (tipo de hábitat 1240): 166,97.

Nivel 4

- 21111 (tipo de hábitat 1230): 31,19.
- 22211 (tipo de hábitat 1230): 480,58.
- 22212 (tipo de hábitat 1230): 52,80.
- 22231 (tipo de hábitat 1230): 431,87.
- 22232 (tipo de hábitat 1230): 253,91.
- 31111 (tipo de hábitat 1240): 2,06.
- 31121 (tipo de hábitat 1240): 109,70.

- 31141 (tipo de hábitat 1240): 12,10.
- 31142 (tipo de hábitat 1240): 91,54.
- 31151 (tipo de hábitat 1240): 0,06.
- 31163 (tipo de hábitat 1240): 0,90.
- 32111 (tipo de hábitat 1240): 0,77.
- 33111 (tipo de hábitat 1240): 47,08.
- 33131 (tipo de hábitat 1240): 162,54.
- 33132 (tipo de hábitat 1240): 4,43.

Tabla 2.1

Tablas de caracterización de los diferentes tipos de acantilados costeros, como ambientes potenciales de cuevas submarinas.

TABLA GENERALIZACIÓN						
ID	Nivel Simplif	CodUE	Hábitat	Sup. Hábitat	Sup. Total del Hábitat	Porcentaje en Reg. Nat.
157	ATL2	1230	Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas	3,43554715	2.304,09390933	0,14910621203799
189	ATL3	1230	Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas	178,263514231	2.304,09390933	7,73681634716168
293	ATL6	1230	Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas	719,515250039	2.304,09390933	31,2276876877916
348	ATL7	1230	Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas	1.402,101559926	2.304,09390933	60,8526221196302
1742	MED42	1230	Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas	0,778037984	2.304,09390933	3,37676333785476E-02

TABLA GENERALIZACIÓN						
ID	Nivel Simplif	CodUE	Hábitat	Sup. Hábitat	Sup. Total del Hábitat	Porcentaje en Reg. Nat.
464	MAC1	1250	Acantilados con vegetación endémica de las costas macaronésicas	5,04071766	167,09232286	3,01672606719545
488	MAC4	1250	Acantilados con vegetación endémica de las costas macaronésicas	40,470795775	167,09232286	24,2206195247575
520	MAC6	1250	Acantilados con vegetación endémica de las costas macaronésicas	55,490629779	167,09232286	33,2095627310738
543	MAC2	1250	Acantilados con vegetación endémica de las costas macaronésicas	51,635812821	167,09232286	30,9025644848229
561	MAC7	1250	Acantilados con vegetación endémica de las costas macaronésicas	14,454366825	167,09232286	8,65052719215038

► Continuación Tabla 2.1

TABLA GENERALIZACIÓN						
ID	Nivel Simplif	CodUE	Hábitat	Sup. Hábitat	Sup. Total del Hábitat	Porcentaje en Reg. Nat.
951	MED19	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	6,97156563	917,981996331	0,759444701297414
1015	MED20	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	7,935700246	917,981996331	0,864472318380697
1382	MED31	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	141,389576854	917,981996331	15,4022167557869
1658	MED40	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	4,009151327	917,981996331	0,436735289256632
1791	MED43	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	44,114576962	917,981996331	4,80560371971538
1894	MED46	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	42,269169754	917,981996331	4,60457502684605
1988	MED49	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	362,622834686	917,981996331	39,5021728242313
2145	MED53	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	160,441804248	917,981996331	17,4776634933207
2183	MED54	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	63,53909957	917,981996331	6,92160628682847
2225	MED6	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	75,181102536	917,981996331	8,18982320312213
2347	MED9	1240	Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con <i>Limonium</i> spp. endémicos	9,507414518	917,981996331	1,03568638121437

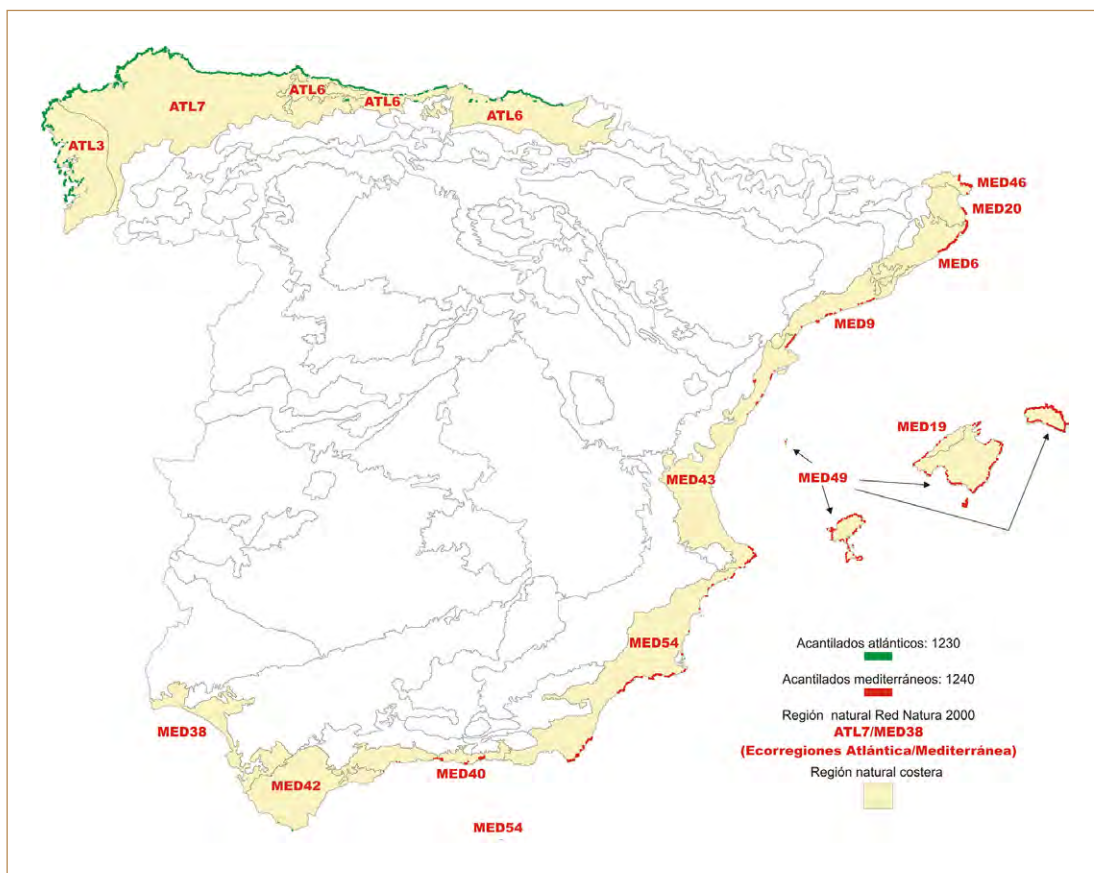


Figura 2.1

Regiones naturales para la red Natura 2000. Amplitud geográfica potencial de las cuevas marinas sumergidas y semisumergidas en la Península Ibérica.

Datos aportados por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

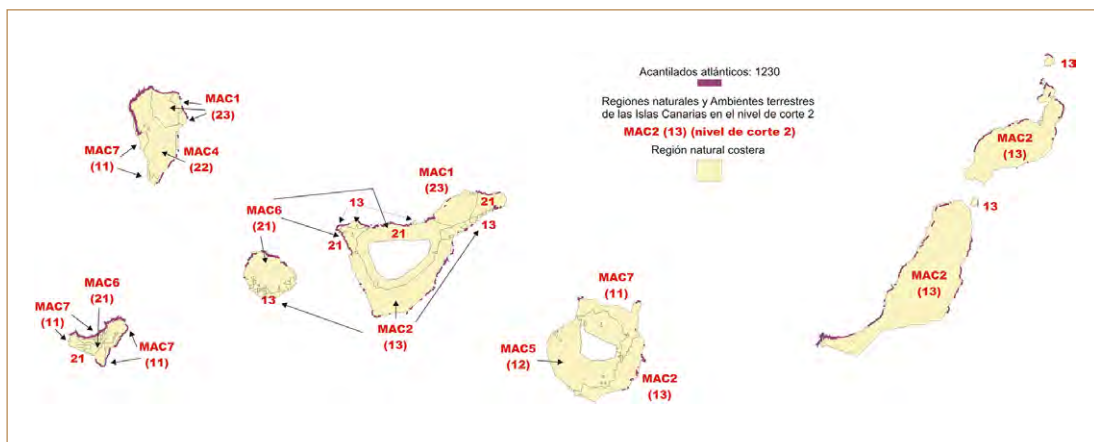


Figura 2.2

Regiones naturales para la red Natura 2000 y nivel de corte 2 en ambientes terrestres para las islas Canarias. Distribución potencial del tipo de hábitat de cuevas marinas sumergidas y semisumergidas en las costas insulares macaronésicas.

Datos aportados por el Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.

Una de las conclusiones más importantes que se pueden obtener de la cartografía presentada es un desajuste claro entre la superficie anotada en las bases SIG y la distribución real de los acantilados. Esto se debe a un problema de escalas, poco exactas en el presente trabajo y que necesitan de una actualización con el desarrollo de una fotointerpretación de detalle y una validación de campo que permita conocer la extensión verdadera de los tramos acantilados peninsulares y canarios y, por lo tanto, del ambiente en el que se pueden desarrollar las cuevas marinas.

2.2. DEMARCACIONES HIDROGRÁFICAS E IDENTIFICACIÓN DE MASAS DE AGUA SUPERFICIALES

Las costas cantábrica y del noroeste se incluyen en las demarcaciones hidrográficas Norte, Galicia Costa y Miño. La costa del País Vasco se encuentra en la demarcación Norte y el ámbito de aplicación Norte III, el litoral de Cantabria y Asturias pertenece a la misma demarcación y el ámbito Norte II. Si se exceptúa la desembocadura del Miño, que pertenecía a la demarcación Norte, ámbito Norte I, y ahora pasará a depender de una nueva Confederación Hidrográfica, la del Miño-Sil, con cabecera en la ciudad de Ourense, el resto de la costa gallega pertenece a la demarcación Galicia Costa.

Las costas atlánticas andaluzas se asocian a las cuencas del Guadiana y del Guadalquivir, en concreto a los ámbitos Guadiana II y Guadalquivir.

En cuanto a las masas de aguas superficiales, las costas atlánticas españolas están afectadas por dos masas de agua principales: Agua Central del Atlántico Noreste (ENACW en sus siglas en inglés), subdividida en dos masas de origen subtropical y subpolar (Fraga, 1982; Fiuza *et al.*, 1998). La variabilidad interanual de esta masa de agua está estrechamente relacionada con los patrones de forzamiento atmosférico, y se ha verificado su relación con la NAO (Huthnance *et al.*, 2002). La Oscilación del Atlántico Norte puede emplearse como indicador de los patrones de evaporación y precipi-

tación, y por tanto de formación de aguas modales en la zona de estudio (Pérez *et al.*, 2000). En fase positiva, se beneficia la evaporación y pérdida de calor en la capa superficial del océano, siendo favorecidas la formación y subducción de agua modales frías y salinas. En cambio, en la fase de dominancia de vientos del sur, se favorece la precipitación, dando lugar a la formación de aguas modales cálidas y menos saladas que, a su vez, no aminoran la subducción de las mismas hacia el océano interior (Pérez *et al.*, 1995).

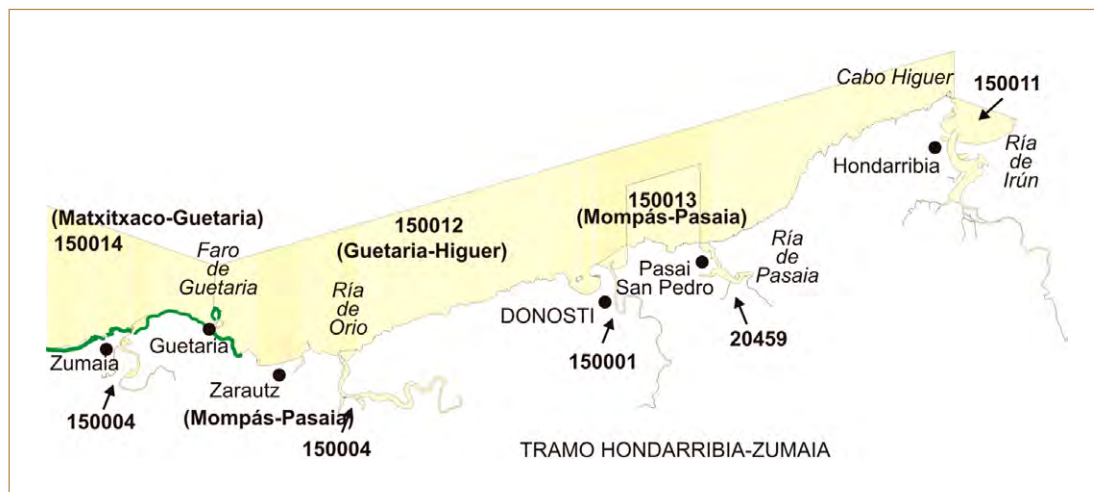
El vertido de agua mediterránea al Atlántico en el estrecho de Gibraltar y la subsiguiente evolución, distribución y mezcla por la cuenca atlántica ha sido ampliamente estudiado (Tsimplis & Bryden, 2000; Lorga & Lozier, 1999; Mauritzen *et al.*, 2001). Se verifica que una elevada parte del transporte total de agua mediterránea se efectúa en forma de meddies, remolinos aislados del patrón general que se han llegado a trazar hasta costa gallega (Paillet *et al.*, 1999). En los últimos años, parece que el agua mediterránea está experimentando un calentamiento y salinización (Rohling & Bryden, 1992). Consecuentemente, es de esperar que las propiedades, distribución y circulación del MW en la zona se vean, a su vez, afectadas. Estudios con modelos numéricos sugieren, para un escenario de variabilidad climática, a las actuales tasas de cambio, el colapso a medio plazo de la formación de agua profunda en el Mediterráneo que inducirían variaciones en la MOW sobre el año 2100 (Torpe & Bigg, 2000). Las observaciones en una estación fija al norte de Santander sugieren variaciones progresivas en las propiedades de la MOW durante la última década que podrían estar relacionadas con cambios detectados en las masas centrales y profundas del agua mediterránea (Glez-Pola & Lavín, en prensa), (Vargas *et al.*, 2002).

En lo que se refiere a las aguas costeras que bañan los acantilados costeros atlánticos, la siguiente cartografía aporta los sectores marinos que comprenden (en amarillo), los códigos de masa y nombre, en el caso de que existan, la distribución de los acantilados (en verde), y topónimos interiores y costeros de referencia para que ayude a su localización general.

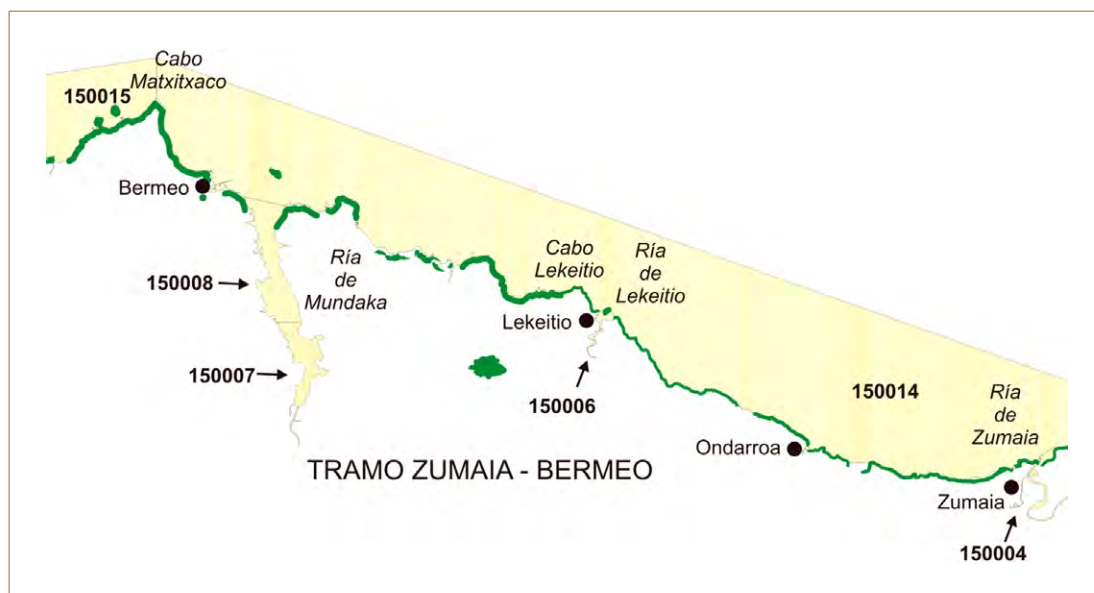
■ Subregión Cantábrica

Sector Euskadi

Tramo Hondarribia-Zumaia



Tramo Zumaia-Bermeo

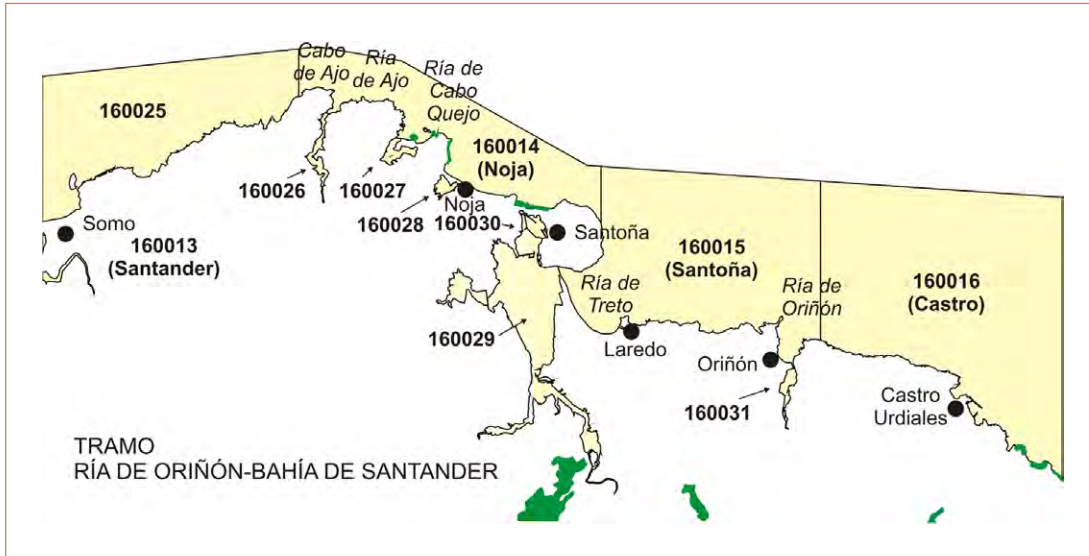


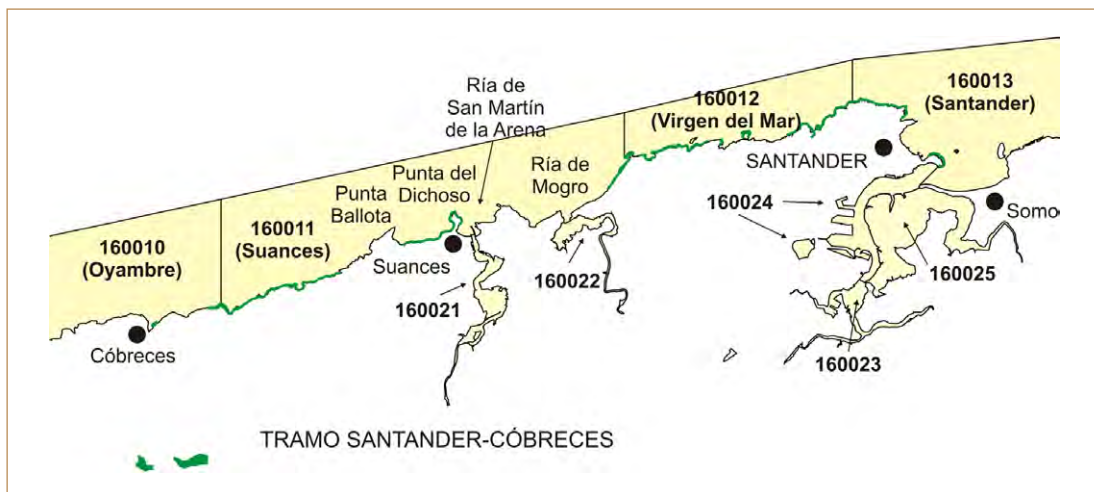
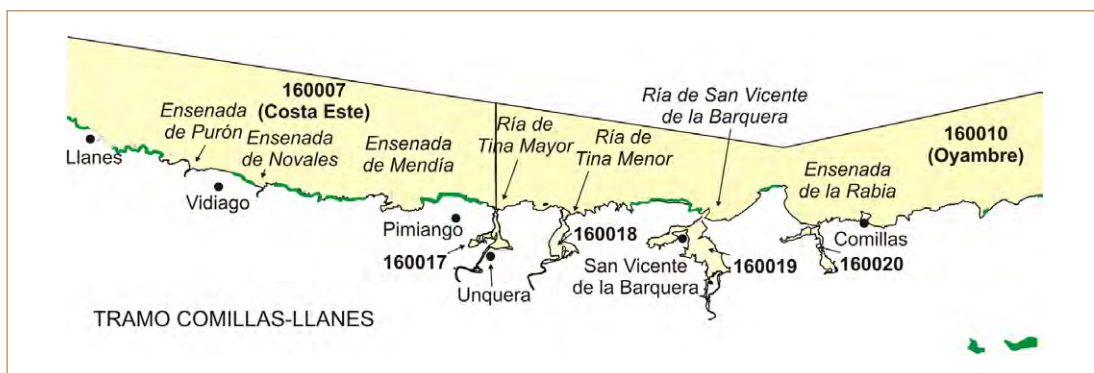
Tramo Cabo Matxitxaco-Ría de Oriñón



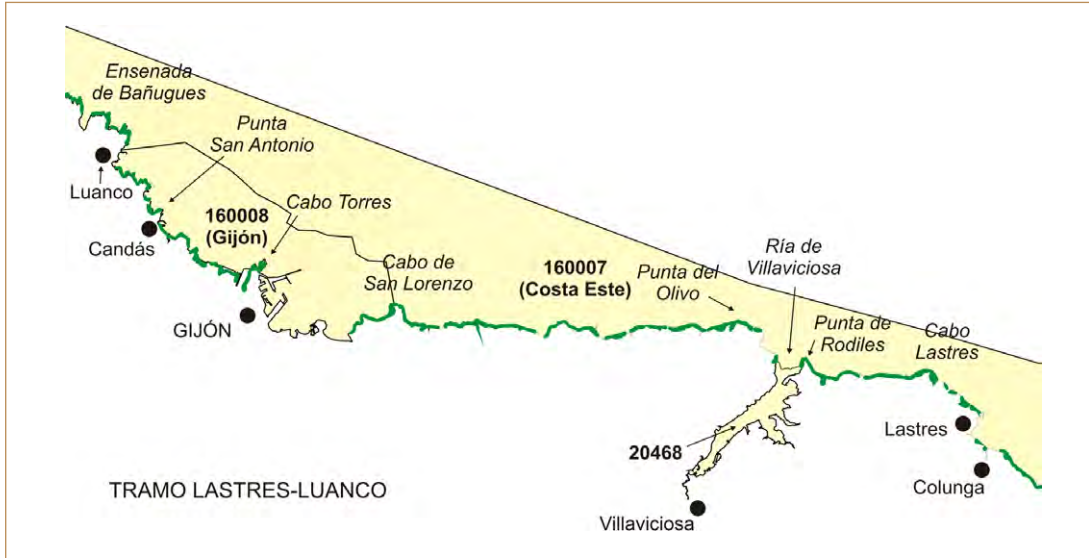
Sector Cantabria

Tramo Ría de Oriñón-Bahía de Santander



Tramo Santander-Cóbreces*Tramo Comillas-Llanes (Sectores Cantabria y Asturias)***Sector Asturias***Tramo Llanes-Lastres*

Tramo Lastres-Luanco



Tramo Luanco-Cabo Vidio



Tramo Cabo Vidio-Punta del Picón



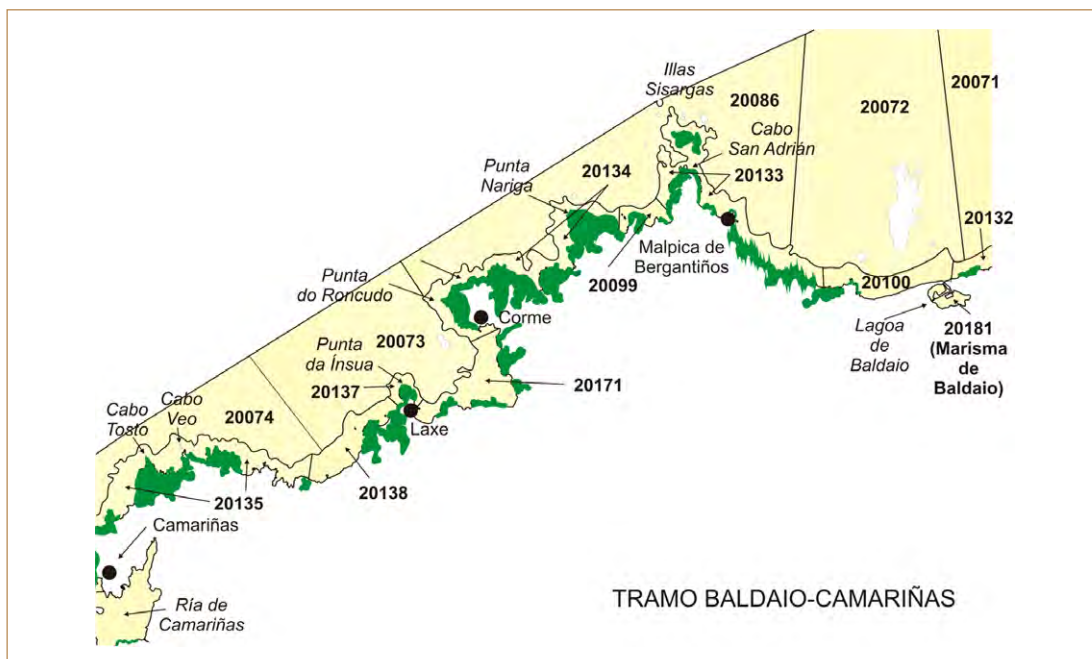
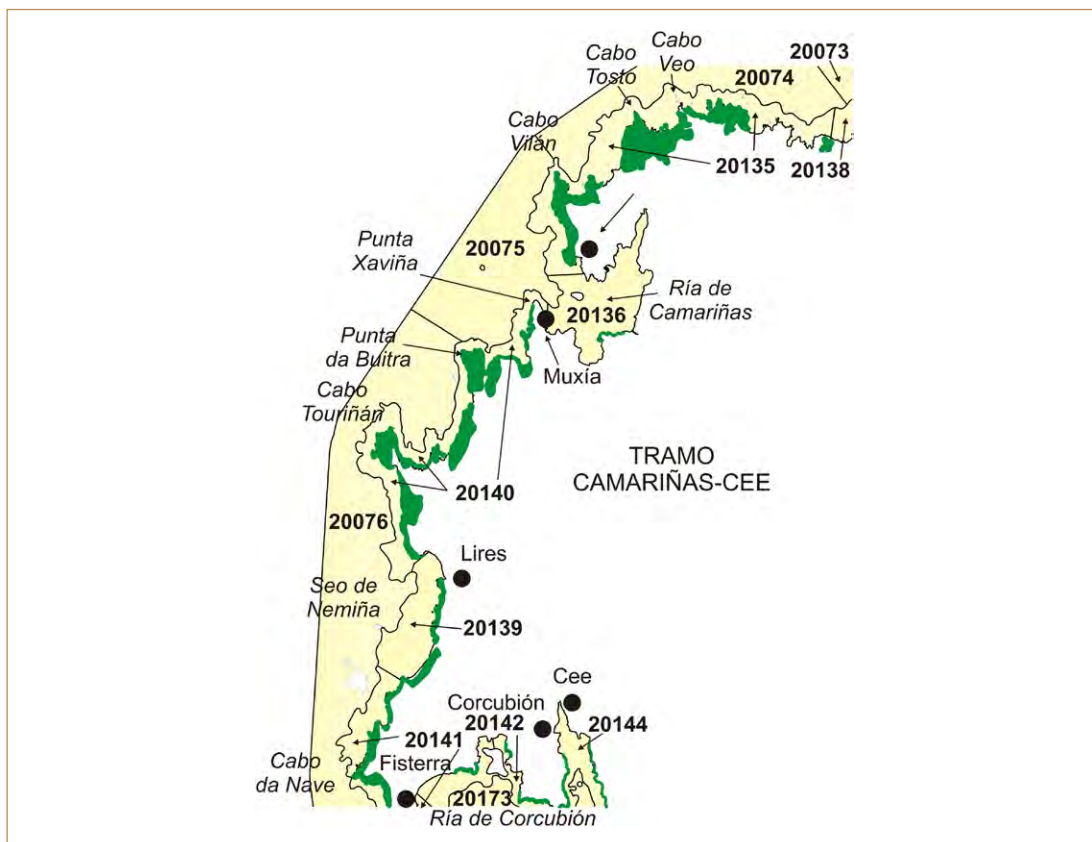
Tramo Navia-Foz (Sectores Asturias y Galicia)



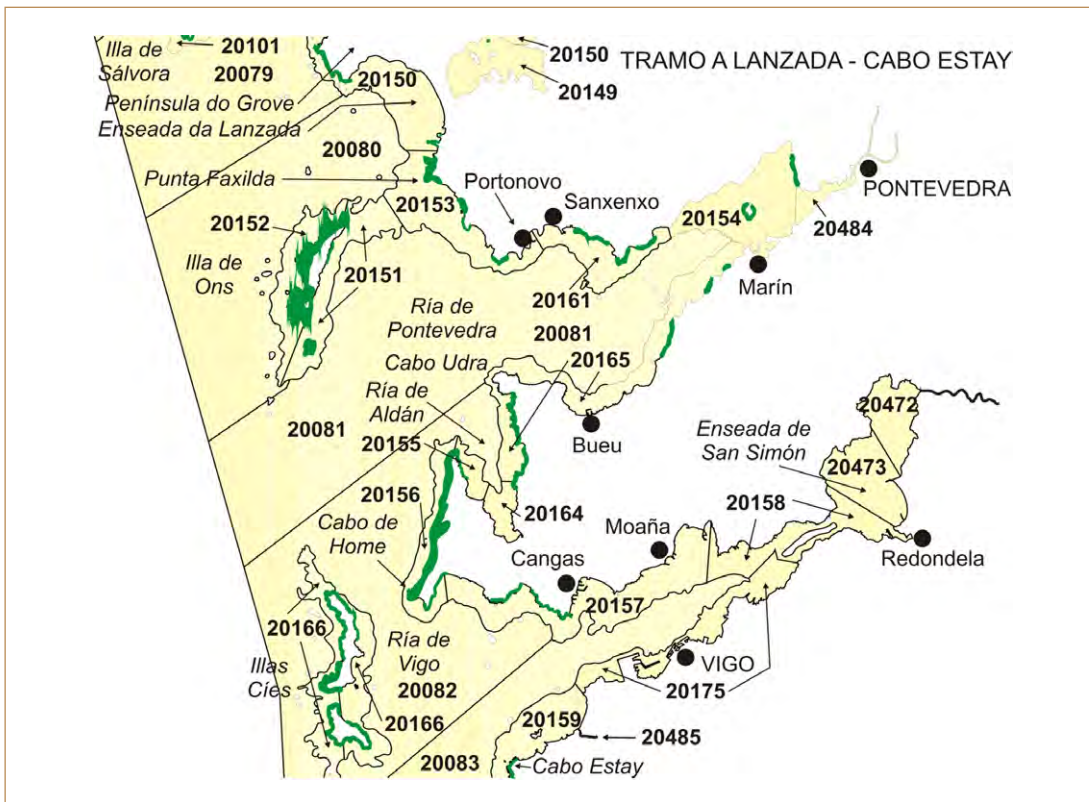
Sector Galicia

Tramo Foz-Espasante



Tramo Baldaio-Camariñas*Tramo Camariñas-Cee*

Tramo A Lanzada - Cabo Estay



■ Subregión Atlántica Suroeste

Sector Andalucía

Tramo Barbate-Algeciras



En la costa mediterránea, las demarcaciones hidrográficas Mediterránea Andaluza, Segura, Júcar, Ebro, Internas de Cataluña y Baleares.

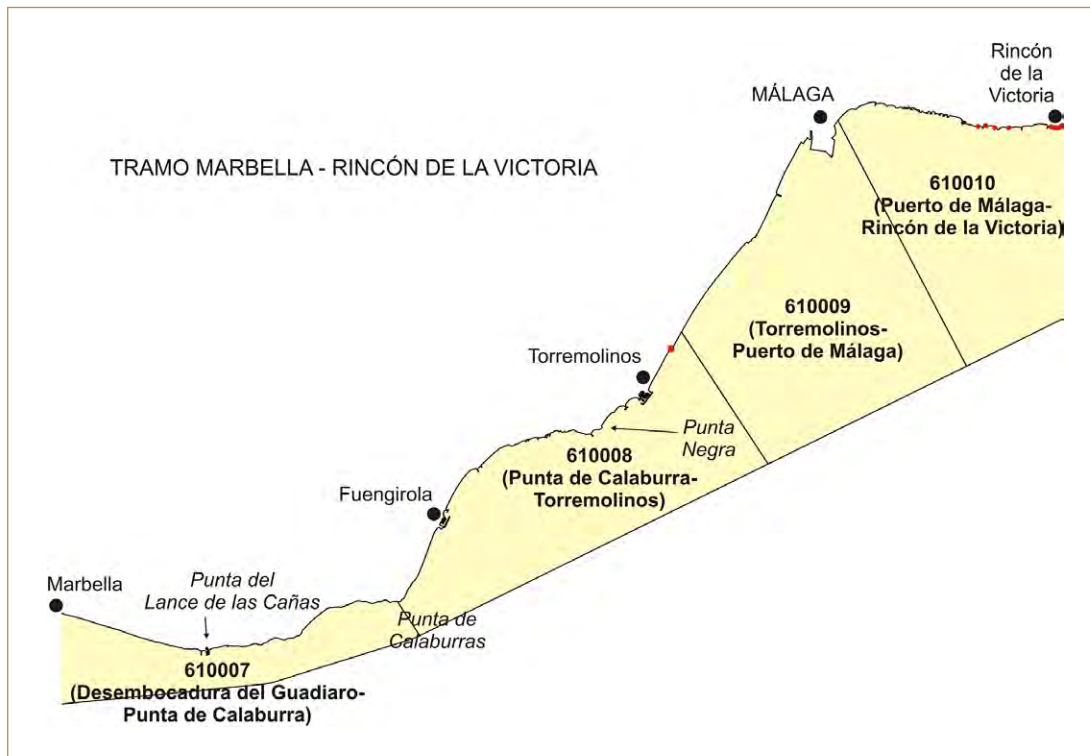
En lo que se refiere a las masas de agua superficiales marinas, éstas pueden observarse en la cartografía siguiente. La misma contiene, en rojo, la distribu-

ción de los acantilados mediterráneos, área de potencial distribución de cuevas; en amarillo aparecen las masas de agua costeras; en texto aparecen tanto la nomenclatura (en negrita) como la división de las masas de aguas costeras, así como los topónimos continentales y costeros de referencia para la ubicación de cada tramo.

■ Subregión Mediterránea Peninsular Meridional

Sector Andalucía

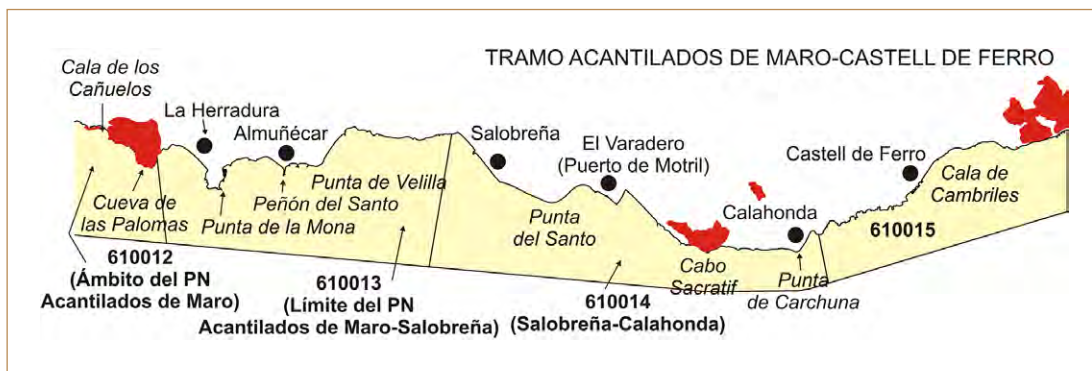
Tramo Marbella-Rincón de la Victoria



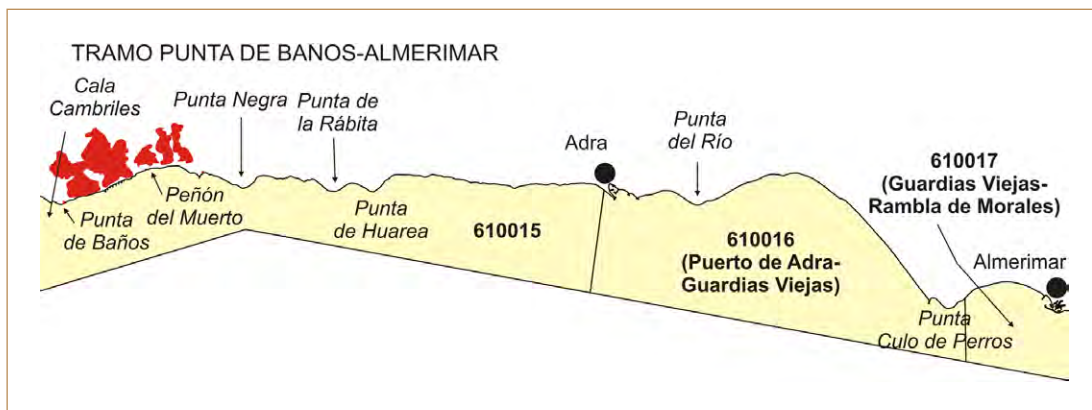
Tramo Rincón de la Victoria-Acantilados de Maro



Tramo Acantilados de Maro-Castell de Ferro



Tramo Punta de Baños-Almerimar



■ Subregión Mediterránea Peninsular Sureste

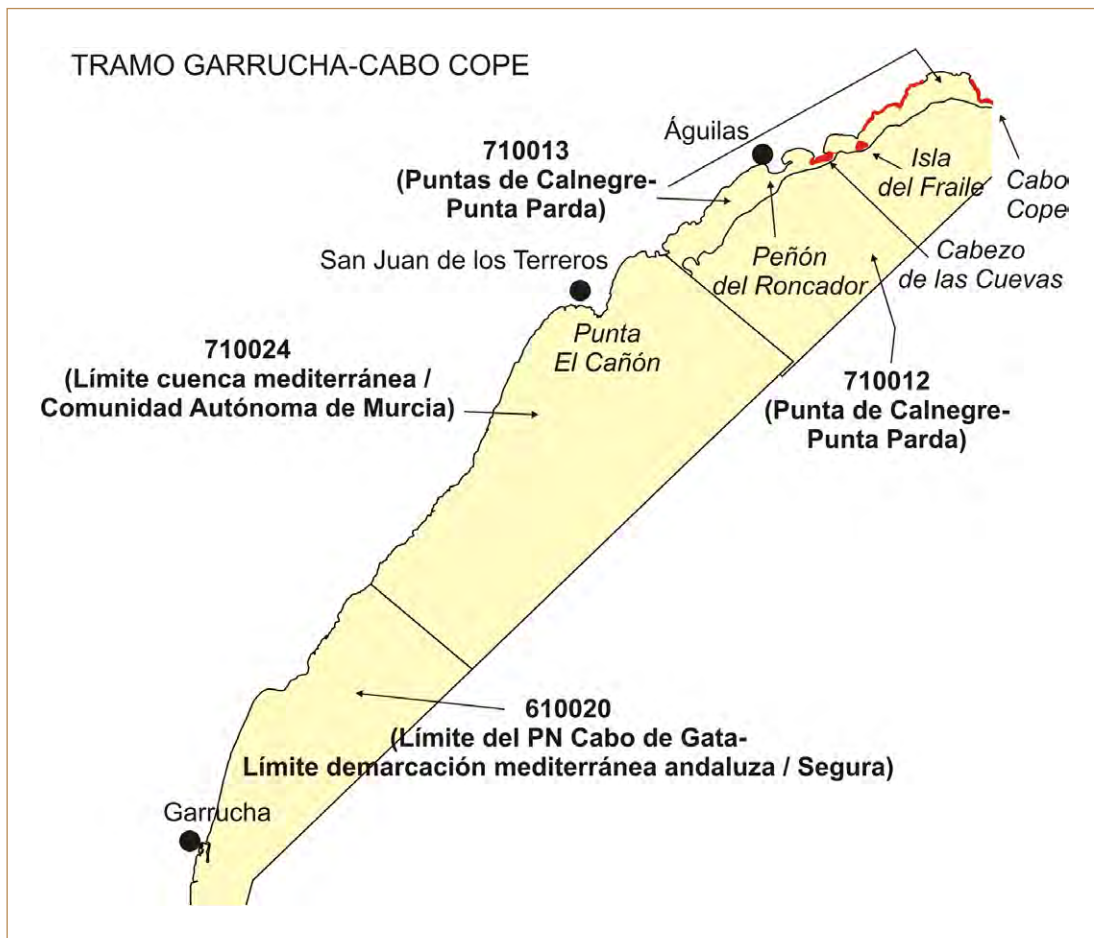
Sector Andalucía

Tramo Cabo de Gata-Puerto de Carboneras



Sector Andalucía-Sector Murcia

Tramo Garrucha-Cabo Cope



Sector Murcia

Tramo Cabo Cope-La Torrosa



Tramo Cartagena-Mar menor

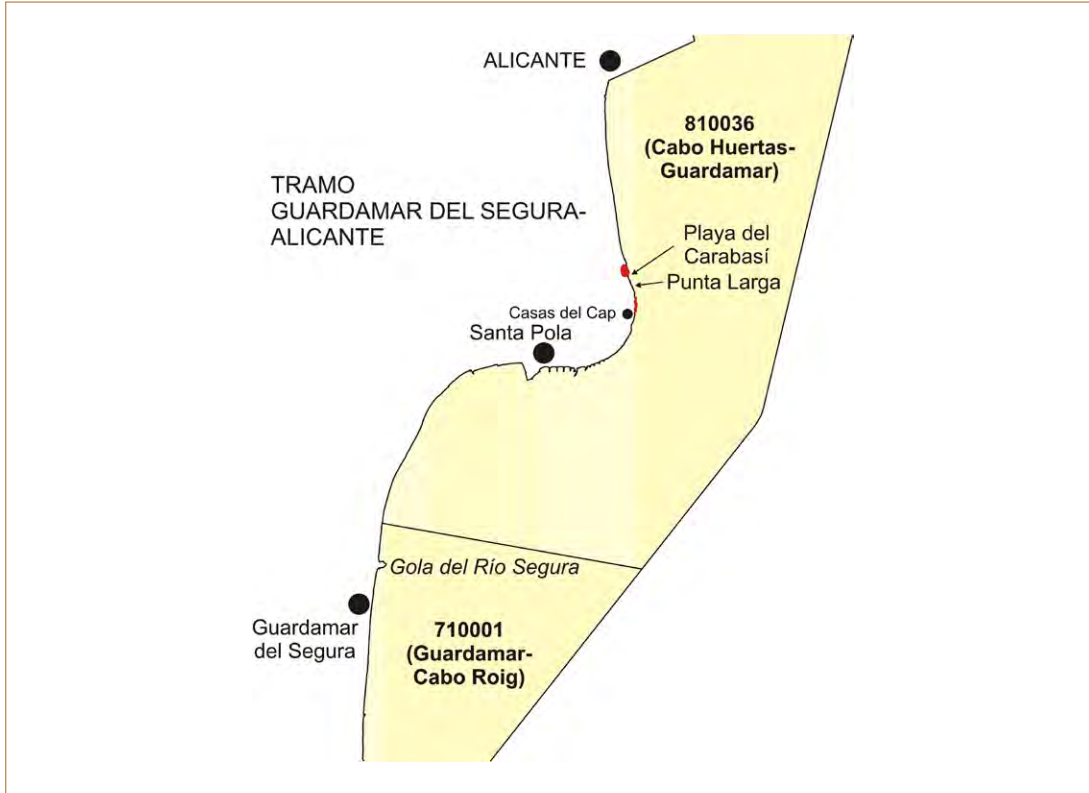


Sector Comunidad Valenciana

Tramo Mar Menor-Guardamar de Segura



Tramo Guardamar de Segura-Alicante



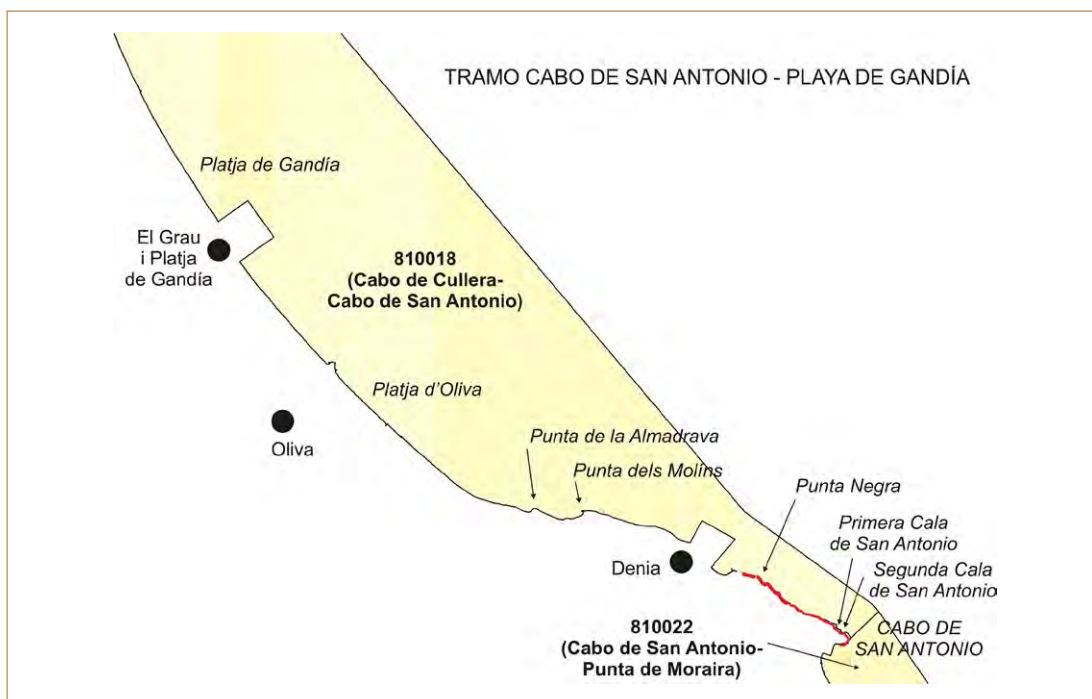
Tramo Alicante-Punta Albir



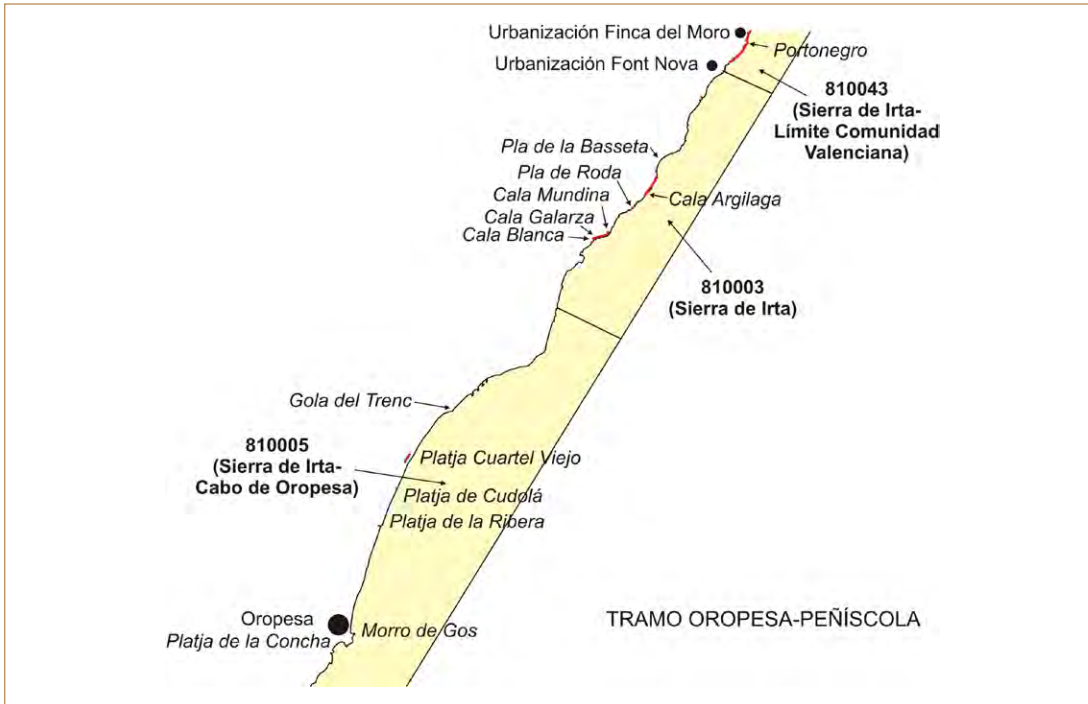
Tramo Punta Albir-Cabo de San Antonio

■ Subregión Mediterránea Peninsular Este

Sector Comunidad Valenciana

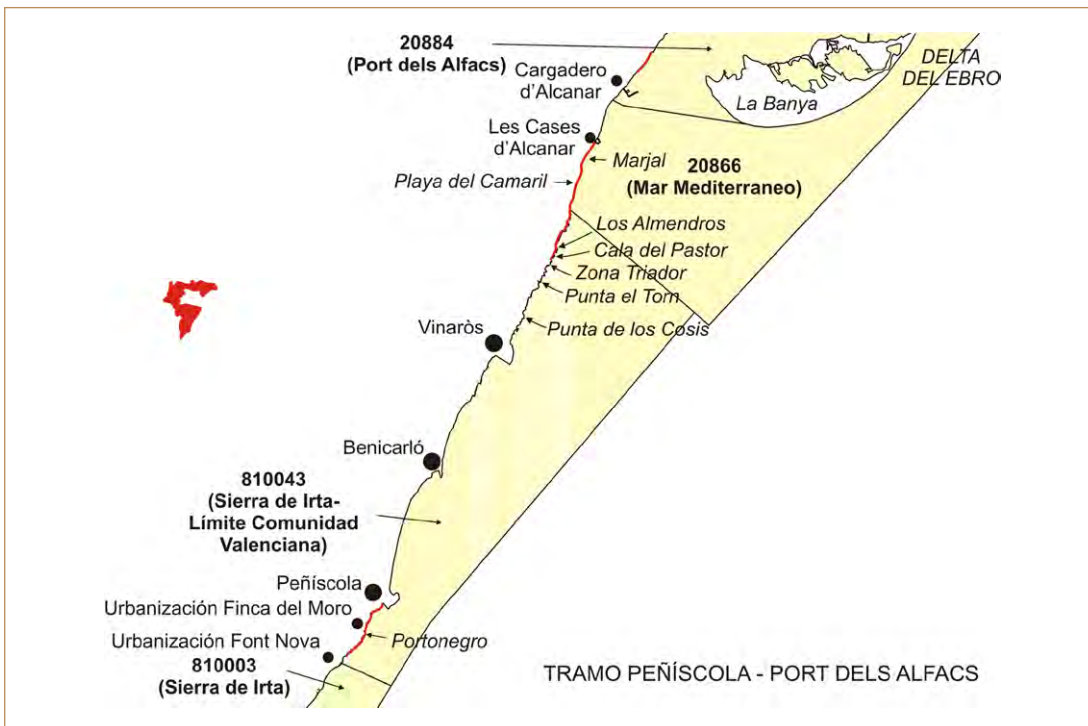
Tramo Cabo de San Antonio-Playa de Gandía

Tramo Oropesa-Peñíscola

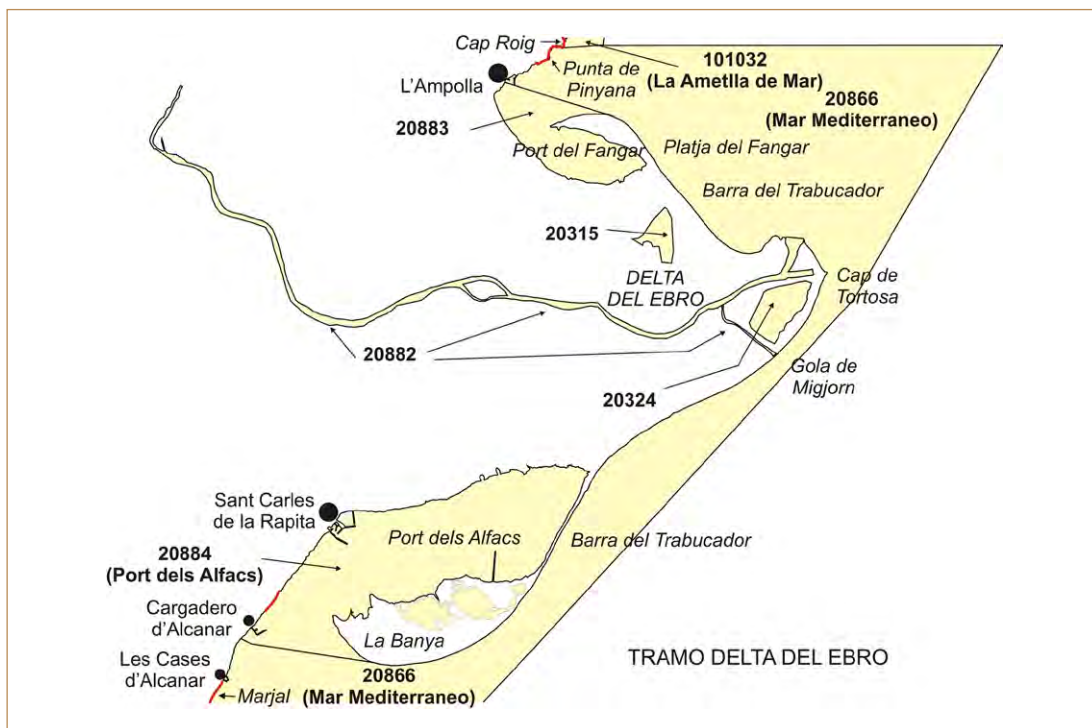


Sector Comunidad Valenciana y Cataluña

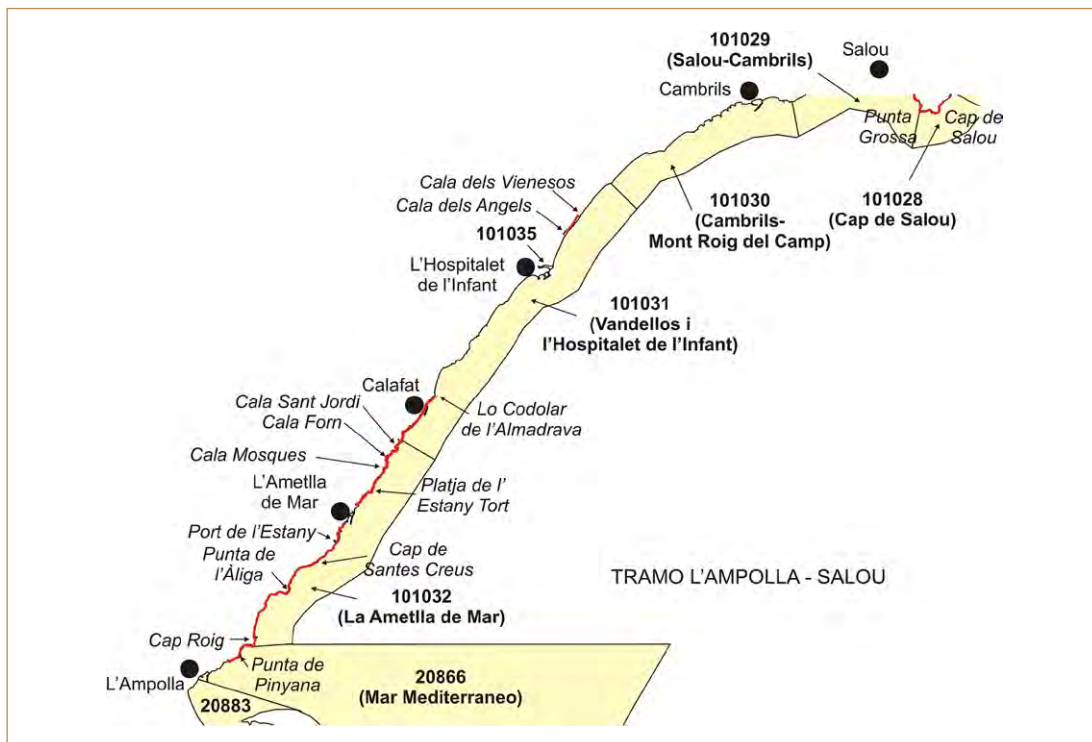
Tramo Peñíscola-Port dels Alfacs



Tramo Delta del Ebro



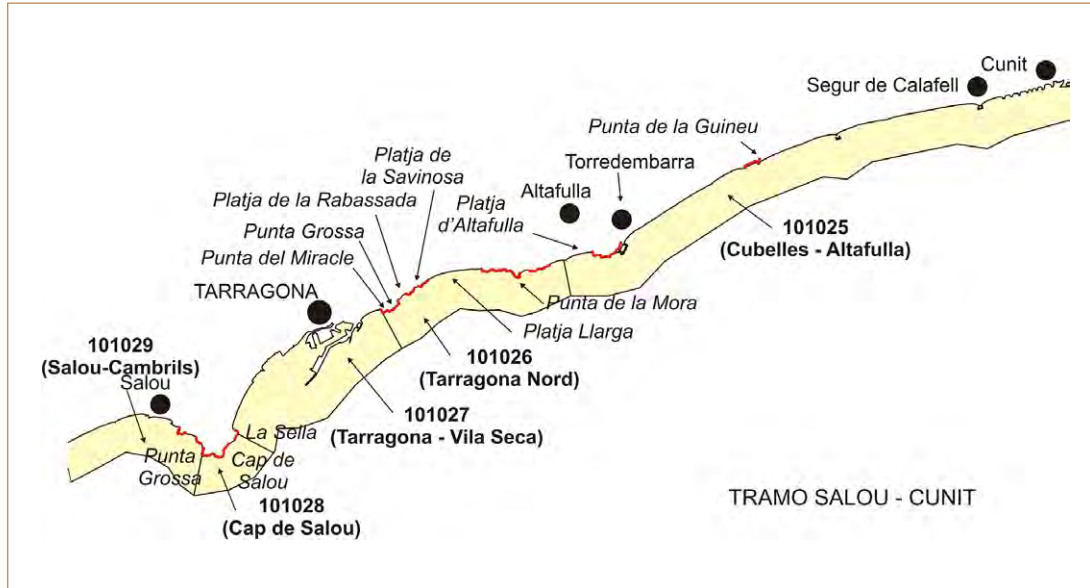
Tramo L'Ampolla-Salou



■ Subregión Mediterránea Peninsular Noreste

Sector Cataluña

Tramo Salou-Cunit



Tramo Cunit-Delta del Llobregat



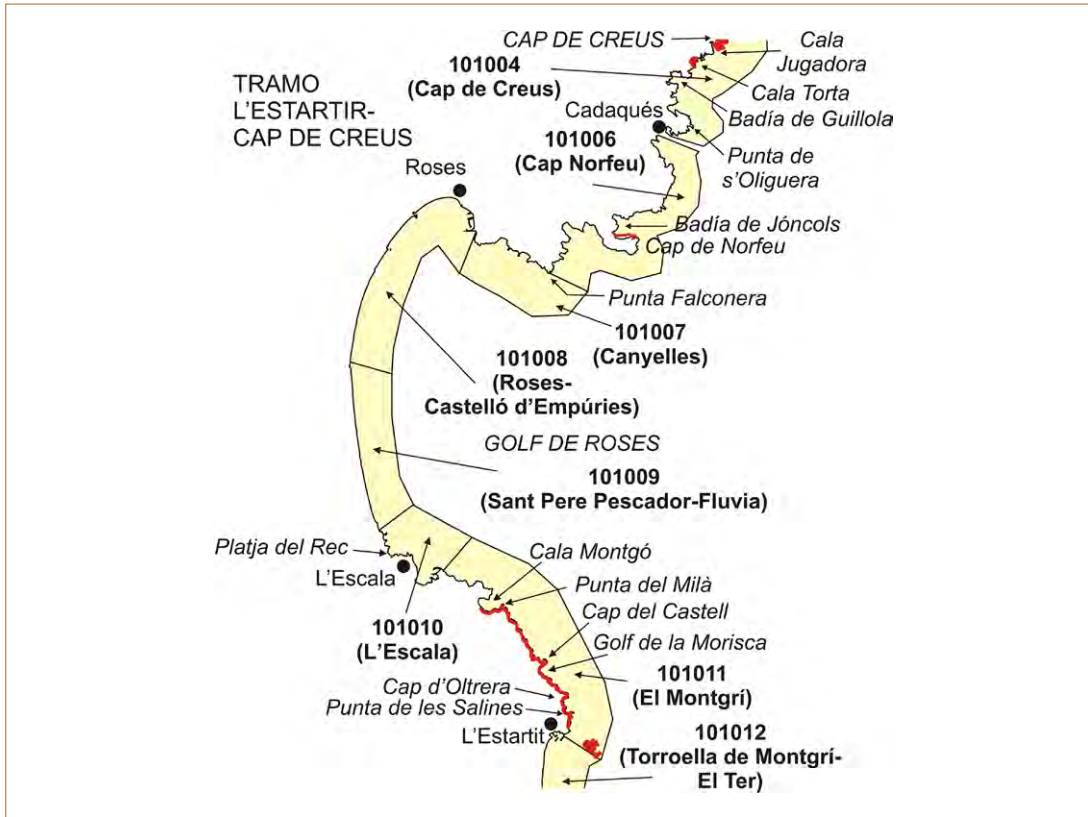
Tramo Arenys de Mar-Platja d'Aro



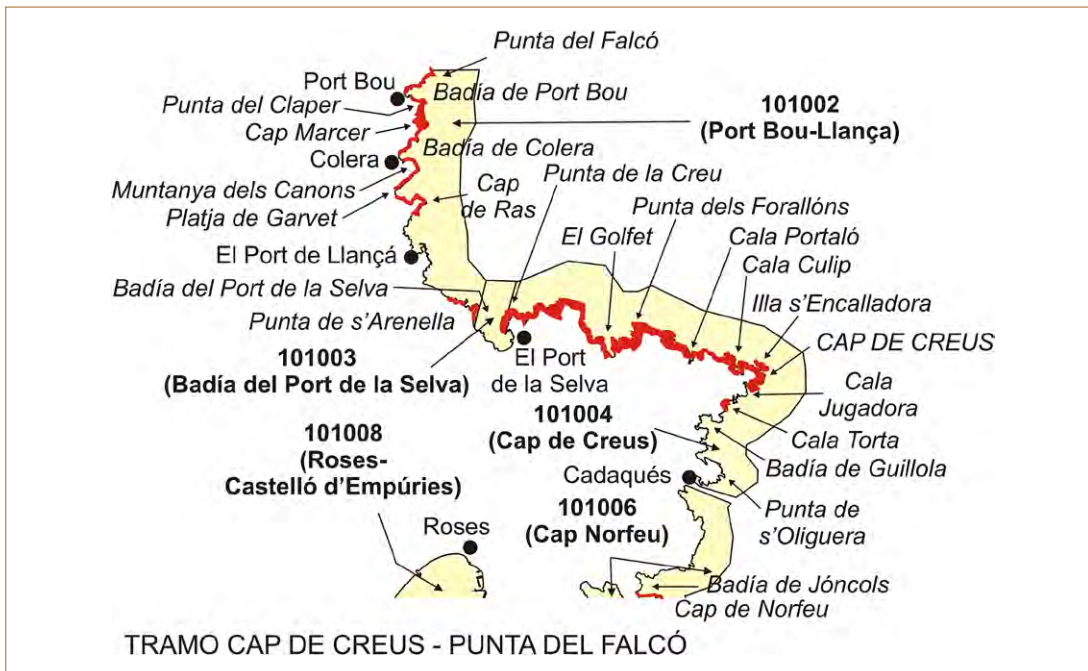
Tramo Platja d'Aro-L'Estartit



Tramo L'Estartit-Cap de Creus



Tramo Cap de Creus-Punta del Falcó



■ Subregión Mediterránea Insular

Sector Ibiza

Tramo Formentera e Ibiza Sur



Tramo Isla de Ibiza



Sector Cabrera

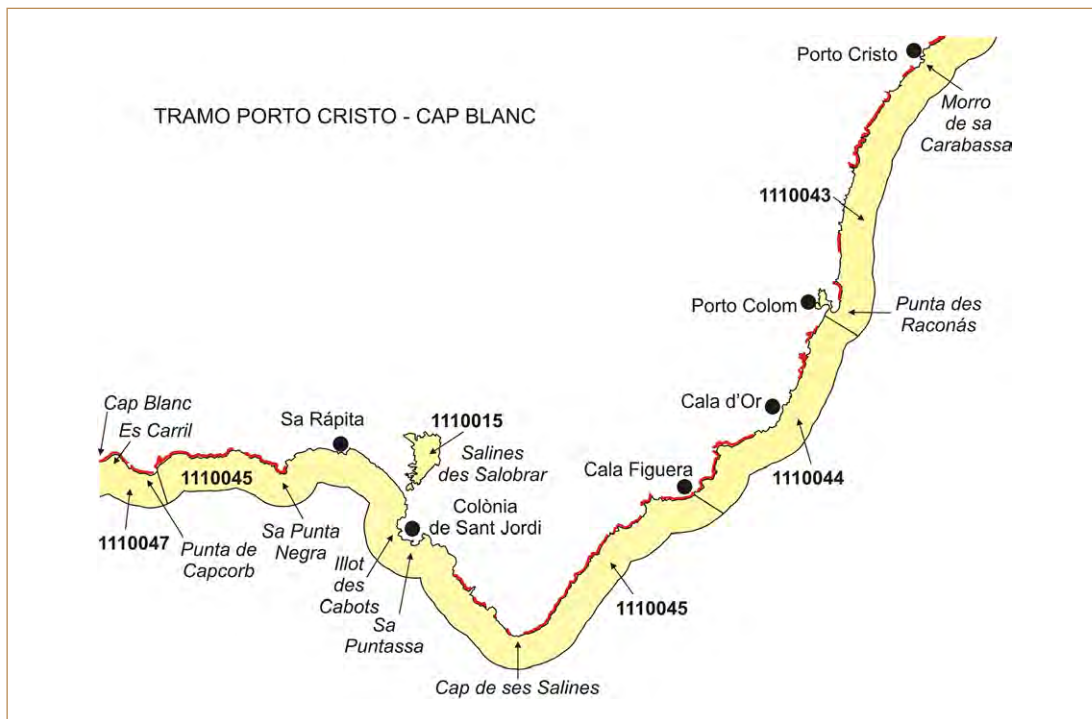
Tramo Isla de Cabrera

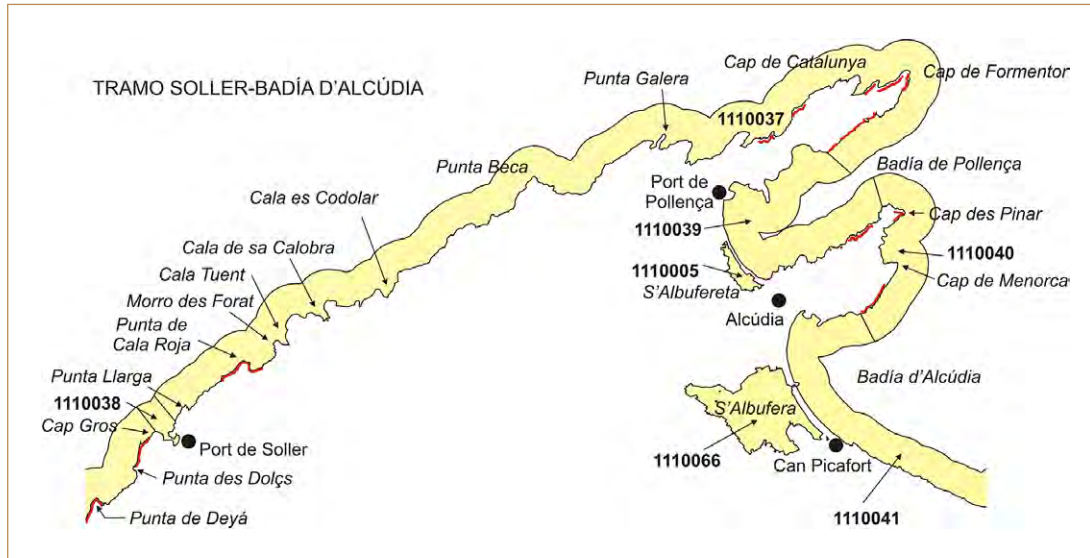


Sector Mallorca

Tramo Isla Dragonera-Cap Blanc



Tramo Porto Cristo-Cap Blanc*Tramo Bahía de Alcúdia-Porto Cristo*

Tramo Soller-Bahía de Alcúdia*Tramo Soller-Isla Dragonera*

notable de este a oeste del archipiélago, dada la interacción de las aguas del Atlántico central con las afloradas en el litoral noroeste de África; también el efecto que provoca la presencia de las islas, al propiciar remolinos en la corriente general a sotavento de las mismas, con la consiguiente influencia en la formación y transporte de materia orgánica (Fernández-Palacios & Martín Esquivel, 2001).

El fenómeno hidrodinámico de mayor relevancia en relación con las aguas que bordean el frente costero insular es el oleaje. Aunque se tratará en el apartado de factores biofísicos de control, puede apuntarse que el régimen habitual resulta de la combinación de mar de viento (*sea*) y de mar de fondo (*swell*); por tanto, de oleaje local y lejano, respectivamente, fruto el primero de la incidencia de los alisios en la región de Canarias y el segundo de la llegada a las islas de trenes de olas procedentes, por lo común, de las latitudes templadas (Yanes *et al.*, 2005 y 2007). En ambos casos, el rango de marea condiciona en gran medida la franja litoral sobre la que actúan. De tipo semidiurno, los valores de las dos pleamares y bajamares que se suceden a diario varían a lo largo del año entre 2-2,5 m y 30-50 cm, con máximos equinocciales y mínimos durante los solsticios.

El hecho de que las aguas costeras de Canarias sean relativamente frías, euhalinas y oligotróficas desempeña un papel fundamental en el poblamiento biológico de sus acantilados y de los fondos oceánicos de los que emergen. Inciden también en ese poblamiento la continuada labor de las olas y la persistencia del spray marino; asimismo, la carencia de una plataforma litoral extensa, pues, a excepción de Lanzarote y Fuerteventura, cada isla dispone de una reducida plataforma propia, cuyo tamaño varía, no obstante, según la edad del volcanismo. De esta forma, la vegetación de la cima de muchos escarpes se reduce, por lo general, a un matorral subdesértico de *Euphorbiaceas* y a comunidades rupícolas, mientras que el spray marino sólo permite, en su base y frente, especies estrictamente halófilas. Las comunidades de algales (*Cystoseira*, *Gelidium*, *Corallina*) son de amplio desarrollo en los fondos rocosos intermareales y submareales. En ellos se registra además una activa interacción de peces pelágicos y bentónicos, propiciando una elevada riqueza de especies que está tendiendo a disminuir, sin embargo, por sobreexplotación pesquera. La existencia de grandes profundidades muy cerca del

litoral favorece también el asentamiento de colonias estables de cetáceos y la presencia de numerosas especies oceánicas —como atunes, tortugas, etc.— que se acercan al litoral canario en sus rutas migratorias (Fernández-Palacios & Martín Esquivel, 2001). Por su parte, los fondos arenosos abiertos suelen aparecer, con frecuencia, limpios de vegetación, contando en todo caso con algas microscópicas (*Caulerpa*). Con todo, entre 10 y 35 m de profundidad se advierte la existencia en algunos de esos fondos de sebales, praderas de *Cymodocea nodosa* que contribuyen a la estabilización de las arenas mediante su sistema radicular, acogen un alto porcentaje de algas filamentosas, invertebrados y peces y generan una cantidad notable de materia orgánica debido al desprendimiento de una elevada biomasa foliar a lo largo del año (Fernández-Palacios & Martín Esquivel, 2001).

Región 1: Océano Atlántico

■ Código Masa 1.2.4: Aguas superficiales continentales y de transición

Las aguas superficiales continentales y de transición son de escasa significación en el tipo de hábitat objeto de análisis, considerando la historia volcánica de Canarias y su emplazamiento en el ámbito subtropical. Ambos hechos imprimen rasgos específicos a la organización hidrológica, definida, en lo esencial, por barrancos que permanecen secos durante amplios períodos de tiempo.

La existencia de sistemas de drenaje interferidos en grado variable por el volcanismo revela que, si bien el relieve de Canarias esté compartimentado por numerosas cuencas hidrográficas, sean amplias las superficies sin drenaje o con él muy incipiente. En efecto, en las áreas de mayor antigüedad no rejuvenecidas por aportes volcánicos posteriores lo característico son las incisiones torrenciales con desniveles de 500 a 1.000 m, con amplias cabeceras, tramos medios y bajos de escasa longitud y desembocaduras estrechas. Por el contrario, donde la actividad eruptiva es reciente, e incluso histórica, son habituales las cuencas surcadas por cauces de reducido encajamiento, cabeceras pequeñas y tramos medios y desembocaduras angostas. Entre ellas se localizan, con frecuencia, extensiones más o menos amplias sin esorrentía, pues la porosidad y permeabilidad de los materiales recién emitidos propician una rá-

vida infiltración del agua de lluvia (Romero *et al.*, 2004 y 2006).

Lo escaso y esporádico de las precipitaciones explica, por su parte, que el avenamiento sea ciertamente ocasional. En este sentido, se debe sopesar que Canarias, a pesar de ser barrida por las borrascas atlánticas en su descenso latitudinal, participa de la irregularidad y torrencialidad propias de los trópicos (Marzol *et al.*, 2006). De ello resultan, en última instancia, fuertes aguaceros que desencadenan casi de inmediato el funcionamiento de las redes de drenaje, lo que se produce siempre en cuencas pequeñas, inferiores a 100 km², pero de acusados desniveles. Es durante el desarrollo de estos episodios de lluvias de gran concentración horaria cuando las aguas superficiales y de transición adquieren importancia; máxime si se tiene en cuenta que pueden generar cambios en el territorio. Exponente claro de esta situación es, por ejemplo, lo ocurrido en el Valle de La Orotava (norte de Tenerife) durante el aluvión de 1826, al que se debió la obturación de lechos, la apertura de nuevos cauces en algunas cuencas hídricas y el avance de su costa en unos 200 m por acumulación de una notable carga sólida (Quirantes *et al.*, 1993).

2.3. FACTORES BIOFÍSICOS DE CONTROL

Según Galán & Herrera, 1998, las principales características del ambiente hipogeo, nombre con el que se conoce el ambiente de las cuevas subterráneas, son: la perpetua oscuridad total —aquí matizada en muchos casos por el escaso desarrollo de las cuevas costeras—; la elevada humedad relativa; la compleja red tridimensional de espacios, de conductos y galerías de muy diversos tamaños; las posibles elevadas concentraciones de CO₂ y otras mezclas de gases, incluyendo algunos gases letales (esto, principalmente, para cuevas muy profundas en sistemas cavernícolas calizos costeros); el bajo contenido de oxígeno disuelto en las aguas, que pueden quedar estancadas o aisladas temporalmente del

drenaje normal mientras en otras ocasiones las galerías y espacios aéreos quedan inundados por crecida de caudales o inundación mareal; extensos substratos rocosos, húmedos y con superficies verticales resbaladizas; fuentes de alimento para la fauna troglógica, troglófila y troglobia generalmente escasas y desigualmente distribuidas, con ausencia de organismos fotosintetizadores y materiales vegetales verdes, y con predominio de detritos de materia orgánica introducidos por percolación e inundación, junto con restos troglógenos (también para cuevas con gran desarrollo interno).

Factores marinos que controlan las cuevas marinas y su hábitat

Incluidas en los frentes acantilados rocosos, los principales factores que intervienen en la morfodinámica de los acantilados de las costas atlánticas españolas son el oleaje, el rango mareal y la frecuencia de los temporales. Se habla, pues, por ejemplo, de las variaciones energéticas del oleaje y de las variaciones en los rangos mareales, pero es necesario recordar también la importancia de los niveles relativos del mar.

■ El efecto de las mareas

Los rangos mareales aumentan, en general, hacia el norte, aunque puede haber anomalías derivadas de la comparación de datos obtenidos en ámbitos geomorfológicos muy distintos, como por ejemplo el fluvial del río Guadalquivir, el puerto de Bilbao, en una ría cerrada, o el de Gijón en una costa más expuesta. La influencia de las mareas es importante en lo que se refiere al alcance continental de la lámina de agua y la proyección de los oleajes, pudiendo configurar edificios endogeomorfológicos de mayor tamaño longitudinal y superior abovedamiento, además de desarrollar zonaciones biológicas originales y diferentes. El efecto de las mareas sobre los seres vivos en costas rocosas está ampliamente estudiado:

Mareógrafo	Carrera (cm)			Período de datos
	Mínima	Media	Máxima	
Bilbao	99	286	503	1993-2003
Santander	99	286	501 (502)	1993-2003
Gijón	99	282	496	1996-2003
A Coruña	86	259	458 (500)	1993-2003
Vilagarcía	79	244	423	1997-2003
Vigo	82	242	421 (492)	1993-2003
Mazagón (Huelva)	75	227	400	1997-2003
Sevilla (Bonanza)	66	204	347	1997-2003
Cádiz			(400)	
Tarifa			(218)	
Ceuta			(171)	
Algeciras			(158)	
Málaga	13	47	(83)	1997-2003
Palma de Mallorca			(93)	
Rosas			(96)	
Tenerife	47	158	285	1997-2003
Puerto de la Luz	47	165	297 (336)	1997-2003
Santa Cruz de la Palma			311	

Fuente: Red de Mareógrafos, Puertos del Estado. Datos pertenecientes al *Atlas Nacional de España* ofrecidos por el IGN en 1990.

Tabla 2.2

Rangos mareales.

■ El efecto del oleaje

La energía del oleaje es otro parámetro de notable importancia en la distribución de los seres vivos en la costa rocosa y, en especial, en las cuevas marinas. Además, del patrón, su direccionalidad y las frecuencias energéticas, dependerá una mayor o menor colonización y desarrollo de los aparatos endomorfológicos costeros. No hay que olvidar, tampoco, el efecto de las salpicaduras y el spray salino sobre las comunidades vivas de los ámbitos rocosos del litoral, algo que depende también, en

gran medida, de la energía del oleaje y la disposición de las geoformas rocosas en la costa.

El ambiente energético del oleaje muestra claras diferencias entre los sectores cantábrico, atlántico noroeste y atlántico suroeste, y mediterráneo. Las costas cantábrica y atlántica noroeste están sometidas a un oleaje más energético que la costa atlántica andaluza, siendo frecuentes las olas de más de tres metros de altura significativa. Con menores alturas de olas aparece la costa mediterránea, como puede observarse en las tablas 2.3 y 2.4.

		Boyas							
		Bilbao ⁽¹⁾	Gijón ⁽¹⁾	Peñas ⁽²⁾	Bares ⁽²⁾	Coruña ⁽¹⁾	Vilano ⁽²⁾	Silleiro ⁽¹⁾	Cádiz ⁽¹⁾
Hs (m)	<0,5	5,64	3,82	0,82	0,13	1,55	0,14	1,77	24,68
	1	34,38	28,08	18,56	8,37	20,35	8,42	21,66	49,23
	1,5	26,40	27,63	24,85	19,2	25,34	18,62	26,55	15,64
	2	14,74	16,78	19,63	20,37	18,04	19,82	17,64	5,27
	2,5	8,60	10,22	14,04	15,9	12,56	17,28	11,85	2,71
	3	4,94	5,93	8,51	12,55	8,17	13,31	7,85	1,22
	3,5	2,69	3,53	5,57	7,51	5,53	8,07	5,16	0,62
	4	1,38	1,66	3,33	5,24	3,35	5,27	2,96	0,34
	4,5	0,64	1,12	1,93	3,49	2,11	3,33	1,86	0,18
	5	0,33	0,68	1,17	2,65	1,3	2,16	1,19	0,58
	>5,0	0,20	0,51	1,56	4,55	1,68	3,56	1,48	0,37

⁽¹⁾ Boya costera. ⁽²⁾ Boya exterior.

Fuente: Red de Boyas de Puertos del Estado. Período variable próximo o superior a una década.

Tabla 2.3

Altura significativa en las costas atlánticas, en porcentaje.

		Boyas							
		Málaga ⁽¹⁾	Almería ⁽²⁾	Cabo Palos ⁽¹⁾	Tarragona ⁽¹⁾	Mahón ⁽²⁾	Cap de Pera ⁽¹⁾	Tenerife Sur ⁽²⁾	Las Palmas 1 ⁽¹⁾
Hs (m)	<0,5	74,85	30,37	33,95	61,87	18,04	31,03	16,43	1,73
	1	18,79	35,85	47,08	31,47	31,51	36,28	51,68	30,94
	1,5	4,04	18,14	13,99	5,05	20,79	17,53	25,32	39,55
	2	1,41	8,32	3,31	1,16	13,14	7,23	5,87	16,92
	2,5	0,56	4,14	1,14	0,37	7,85	3,76	0,63	6,52
	3	0,21	1,93	0,40	0,65	4,05	2,04	0,04	2,52
	3,5	0,09	0,80	0,12	0,14	1,63	1,00	—	1,04
	4	0,04	0,26	0,01	—	0,82	0,64	0,17	0,43
	4,5	0,01	0,17	—	—	0,75	0,31	0,04	0,22
	5	—	0,03	—	—	0,68	0,11	0,04	0,08
	>5,0	—	—	—	—	0,75	0,07	—	0,07

⁽¹⁾ Boya costera. ⁽²⁾ Boya exterior.

Fuente: Red de Boyas de Puertos del Estado. Período variable próximo o superior a una década.

Tabla 2.4

Altura significativa en las costas mediterráneas y atlánticas, en porcentaje.

En las costas del norte peninsular, y de manera especial en el tramo atlántico gallego, el oleaje de fondo (*swell*) representa un porcentaje importante del total de olas altas que llegan a las costas más

expuestas. Además, durante el otoño y el invierno las costas cantábricas y noratlánticas están expuestas a frecuentes temporales asociados al paso de borrascas.

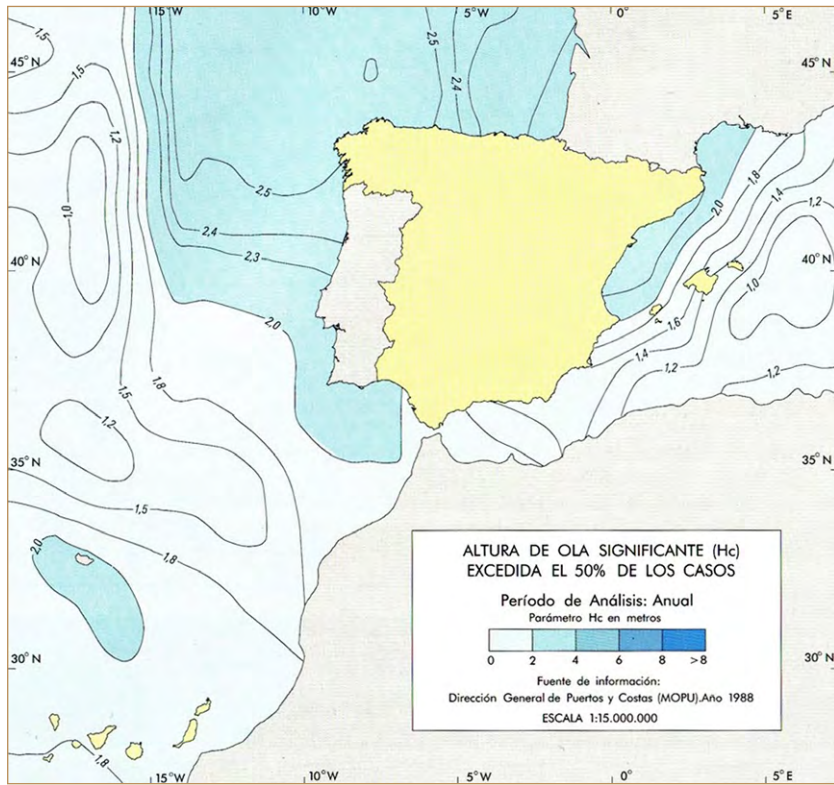


Figura 2.3
Altura de la ola significativa
excedida el 50% de los casos.

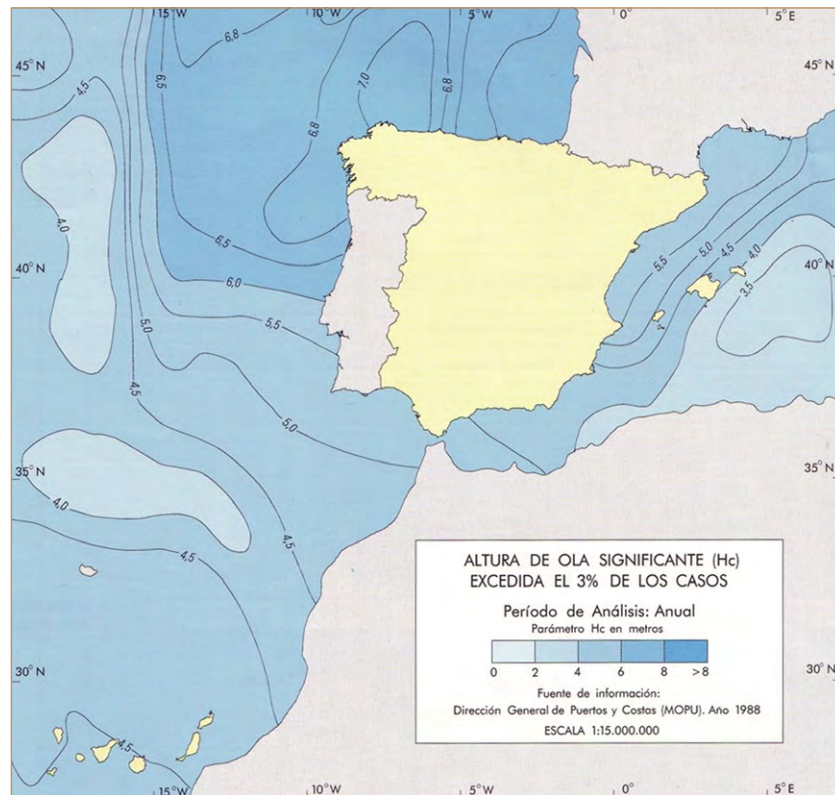


Figura 2.4
Altura de la ola significativa
excedida el 3% de los casos.

Las dos figuras anteriores muestran la altura significativa anual en metros en las costas españolas, según el *Atlas Nacional de España*, a partir de datos de la Dirección General de Costas, 1988.

■ La salinidad

Una característica importante, a la hora de analizar la distribución de animales y plantas en los acantilados, es el grado de salinidad del agua del mar, o sea la cantidad de sales contenidas en un litro de agua de mar. En el mar hay muchas sales disueltas y sus proporciones son muy constantes debido al movimiento continuo de las aguas. De todas ellas, la sal común, el cloruro sódico, es la más abundante.

Según el *Atlas de España*, Sección III, Grupo 13, que recoge la síntesis de una serie de datos de 40 años, entre 1950 y 1990, analizados por el Instituto Español de Oceanografía, se pueden realizar las siguientes anotaciones con valores en tantos por mil:

a) En primavera

En la costa atlántica peninsular, en primavera, aparecen valores de entre 34,75‰ y 35,00‰ entre los cabos Higuier y Lekeitio; entre este último y el cabo de Ajo, además del tramo de las Rías Baixas gallegas entre el Cabo Fisterra y el estuario del río Miño, presentan valores de entre el 35,00‰ y el 35,25‰; el resto de la costa, es decir, el tramo entre el Cabo de Ajo y el Cabo Fisterra, aporta valores entre el 35,25‰ y el 35,50‰.

En la costa atlántica andaluza, aparecen valores de entre el 35,75 y el 36, salvo la zona del Estrecho que contiene valores entre el 36 y el 36,25.

En la costa mediterránea andaluza, desde la zona del Estrecho hasta la punta Calaburras, los valores oscilan entre el 36,25‰ y el 36,50‰; desde este punto hasta Castell de Ferro, los valores van entre 36,50‰ y 36,75‰; desde Castell de Ferro y Águilas entre 36,75‰ y 37,00‰; y del 37,00‰ y 37,25‰ entre Águilas y el Cabo de Santa Pola; desde este cabo hasta Sagunto, los valores ascienden al rango 37,25‰-37,50‰, incluyéndose en el mismo las Islas Baleares; desde Sagunto a la comarca del Baix Camp, a medio tramo entre el Delta del Ebro y el Cabo de Salou, se asciende al rango 37,50‰-37,75‰; el rango

37,75‰ a 38,00‰ va desde este lugar al extremo sur del Golfo de Rosas; el intervalo 38,00‰-38,25‰ de aquí a la frontera con Francia.

La costa de las islas Canarias se encuentra dividida en dos sectores separados por la isohalina 36,75‰: el área de 36,5‰ y 36,75‰ que ocupa a Lanzarote y Fuerteventura, y la de 36,75‰ y 37,00‰ que comprende el resto del archipiélago.

b) En verano

En la costa atlántica peninsular, 34,75 a 35,00 desde cabo Higuier a Zumaia; 35,00-35,25 de Zumaia a Santander; 35,25-35,50 de Santander a Ferrol; 35,50-35,75 entre Ferrol y la desembocadura del río Miño.

En la costa atlántica andaluza, 36,00‰ y 36,25‰ salvo la zona del Estrecho y hasta Málaga, que contiene valores entre el 36,25‰ y el 36,50‰.

En la costa mediterránea, de Málaga a Castell de Ferro, entre 36,50‰ y 36,75‰; entre Castell de Ferro y Punta de los Muertos, en Almería, 36,75‰-37,00‰; de 37,00‰ a 37,25‰ entre esta punta y Valencia, incluyendo las islas de Ibiza y Formentera junto a sus anexas; de 37,2‰ a 37,50‰ de Valencia al Baix Camp catalán, a medio tramo entre el Delta del Ebro y el Cabo de Salou, incluyendo la mitad sur de la isla de Mallorca; Menorca y el tramo entre el Baix Camp y la frontera francesa corresponde a valores entre 37,50‰ y 37,75‰.

En el archipiélago macaronésico, Lanzarote y Fuerteventura se encuentran en el intervalo litoral de 36,50‰ y 36,75‰, mientras el resto del archipiélago lo hace en el de 36,75‰ y 37‰.

c) En otoño

En la costa peninsular atlántica, entre 34,75‰ y 35,00‰, aparece entre cabo Higuier y Cabo Machichaco; entre 35,00‰ y 35,25‰ entre Cabo Machichaco y Cabo de Peñas; de Cabo de Peñas hasta la desembocadura del río Miño, los valores oscilan entre el 35,25‰ y el 35,50‰.

La costa andaluza del Atlántico se incluye en el intervalo 36,25‰ y 36,50‰, valores que alcanzan el primer tramo del mediterráneo hasta el punto intermedio entre Estepona y Marbella.

Ya en el Mediterráneo, entre 36,50‰ y 36,75‰ desde el punto intermedio entre Estepona y Marbella a Málaga; 36,75‰-37,00‰ de Málaga hasta la Punta del Río (Granada); desde el anterior punto al Cabo Santa Pola, de 37,00‰ a 37,25‰; de 37,25‰ a 37,50‰ desde el Cabo Santa Pola a Cullera, incluyendo el archipiélago balear; de 37,50‰ a 37,75‰ desde Cullera a L'Ametlla de Mar; 37,75‰ a 38,00‰ desde L'Ametlla hasta el extremo meridional del Golfo de Rosas; desde allí a la frontera con Francia, los valores pertenecen al rango 38,00‰-38,25‰.

La costa de las Islas Canarias se encuentra dividida en dos sectores separados por la isohalina 36,75‰: el área de 36,50‰ y 36,75‰ que ocupa a Lanzarote y Fuerteventura, y la de 36,75‰ y 37,00‰ que comprende el resto del archipiélago.

d) En invierno

En la costa peninsular atlántica, debido al notable aumento de las precipitaciones, hay fuertes variaciones entre Cabo Higuer y el Cabo de Ajo, pasando de valores inferiores al 33‰ a valores del 35‰; el rango 34,75‰ a 35‰ se mantiene desde el Cabo de Ajo hasta la desembocadura del río Miño.

En la costa andaluza del Atlántico, el intervalo 35,75‰-36,00‰ ocupa toda la costa excepto el Estrecho, que pertenece al rango inmediatamente superior, 36,00‰-36,25‰.

En la costa mediterránea, comienzan los valores entre el 36,25‰ y el 36,50‰ hasta Marbella; entre Marbella y Málaga aparecen valores entre el 36,50‰ y el 36,75‰; entre este valor y el 37,00‰ aparece en la costa desde Málaga a la Punta de los Muertos (Almería); desde ésta al Cabo de Palos se suceden los intervalos 37,00‰-37,25‰ y 37,25‰-37,50‰; desde Cabo de Palos al Baixa Camp (punto intermedio entre el Cabo Salou y el Delta del Ebro), incluyendo todo el archipiélago balear, se muestra el rango 37,50‰-37,75‰; desde este punto a la frontera francesa se desarrollan valores entre 37,75‰ y 38,00‰.

En la costa canaria aparecen los siguientes valores: Lanzarote y Fuerteventura, junto con sus pequeñas islas anexas, se encuentran en el intervalo

36,5‰-36,75‰; Gran Canaria y el macizo de Anaga, en la isla de Tenerife, lo hacen en el rango 36,75‰-37,00‰; el resto del archipiélago, es decir, la parte occidental del mismo está comprendido entre los valores 37,0‰ y 37,2‰.

Aunque la salinidad media oscila entre 33 y 36 por mil en el caso de las aguas atlánticas españolas, a lo largo de la costa cántabra, galaica, andaluza occidental y canaria los valores varían notablemente. Además, en el litoral y en la superficie los valores oscilan mucho, debido a la influencia de factores meteorológicos y topográficos submarinos junto con los aportes fluviales o los afloramientos.

Las variaciones estacionales son también bastante marcadas, sobre todo por el régimen de precipitaciones y los regímenes de evaporación.

En el frente costero de Galicia, por ejemplo, se registran medidas entre 35,4 a 35,6 por mil. Sin embargo, frente a las rías se encuentran mantos de agua con menor salinidad y dentro de las rías la salinidad aumenta con la profundidad.

En el caso del Mediterráneo, es necesario citar el complejo intercambio de aguas que influye en la salinidad de las costas peninsulares e insulares mediterráneas de nuestro país. Según Calvo Calvín, 1995, el agua que entra del Atlántico presenta unas características muy concretas en temperatura y salinidad (agua atlántica), ya que los 320 m de profundidad del estrecho de Gibraltar sólo dejan entrar aguas superficiales. Este agua atlántica, con una salinidad del 36,15‰ y una temperatura que en invierno no desciende de 12°C, forma la corriente superficial que entra por el estrecho y cuyo caudal va a oscilar entre 63 y 146 km³/día. Sigue este autor anotando que el agua atlántica irá transformándose en agua mediterránea en su discurrir dentro de la cuenca. Durante el verano, la insolación y la evaporación asociada hacen que, ya dentro de la cuenca, las aguas atlánticas superficiales eleven su salinidad y temperatura, sin variaciones importantes de su densidad. Durante el invierno, en su discurrir hacia las zonas septentrionales (Mediterráneo noroccidental, mar Adriático, zona de Chipre), las aguas atlánticas, que ya han perdido mucha de su identidad inicial, sufren una serie de cambios que las convierten en aguas mediterráneas. Los fuertes y fríos vientos reinantes en estas zo-

nas van a producir el enfriamiento de las aguas superficiales (inversión térmica), junto con un aumento de su salinidad y densidad. Se convierten así en aguas más pesadas, hundiéndose hasta encontrar un nuevo equilibrio termohalino. Finaliza así el proceso de formación de agua mediterránea, que se caracteriza por una temperatura, 13°C, y una salinidad de 38,4‰. Agua que, en gran medida, saldrá por Gibraltar en forma de corriente profunda, cuyo caudal oscila entre 60 y 138 km cúbicos/día, evitándose con ello el aumento de salinidad en la cuenca. Este agua mediterránea, después de encontrar el equilibrio termohalino con las diferentes masas de agua del Atlántico, se extiende hacia el norte a lo largo de la costa de Portugal, manteniendo todavía sus características en puntos tan distantes como las islas Azores o el golfo de Vizcaya.

Termina Calvo Calvín aclarando que el déficit ocasionado por la evaporación que la climatología produce en el Mediterráneo, es el motor que pone en movimiento una masa de agua mucho mayor que la que se pierde, evitando una desecación o una salinización progresiva de este mar, pero restringiendo también su productividad por la pérdida constante de nutrientes que conlleva la corriente de fondo que sale hacia el Atlántico. El movimiento de aguas es de tal magnitud que se estima que el Mediterráneo renueva totalmente sus aguas cada 100-150 años.

■ Cambios relativos en el nivel del mar

Como es de suponer, los cambios relativos en el nivel del mar a lo largo de las diferentes pulsaciones cuaternarias y anteriores, influyen en la evolución de la morfología de las cuevas y en su biota. Por otro lado, es un factor que explica la existencia de cuevas marinas sumergidas y emergidas por completo, es decir, en paleoniveles marinos de acción del oleaje en intermareal. Es habitual encontrarse con cuevas colgadas sin actividad marina actual, las cuales, si bien pueden evolucionar a partir de aguas continentales, deben su talla y morfología a una actividad marina pasada. Es por ello que se interpreta este factor como de gran importancia para el tipo de hábitat que aquí se trata.

Por otro lado, en rocas calizas el problema se complica, ya que existen variaciones en los procesos de karstificación y evolución del fondo y los diferentes

niveles de las cuevas. En este sentido, Garay & Robledo, 2008, aportan un interesante texto para cuevas calcáreas en general:

“La importancia del concepto nivel de base, así como los cambios del nivel del mar sobre la karstificación, ha sido destacada desde principios de siglo por autores como Davis, 1930; Bretz, 1942; Bögli, 1980; Ford & Williams, 1989; Wright *et al.*, 1991 o Guilleson, 1996, entre otros.

El nivel de base en cavidades litorales está condicionado por las fluctuaciones del nivel del mar y las elevaciones tectónicas; y ambos procesos, a su vez, también ejercen un control sobre el nivel freático. El nivel freático es un elemento clave en el desarrollo del sistema de cavernas (Ford & Williams, 1989) puesto que condiciona notablemente la naturaleza y evolución de la porosidad en las rocas carbonatadas y, en consecuencia, el tipo y tamaño de los conductos (Ford & Williams, 1989; Wright *et al.*, 1991; Guilleson, 1996).

Las fluctuaciones del nivel del mar de alta frecuencia también influyen en el desarrollo hidrológico del karst, controlado por la amplitud de los cambios y actuando de forma más intensa en las regiones litorales. Muchas estructuras endokársticas se encuentran en el registro geológico representando los ciclos de Milankovitch. La precisión, oblicuidad y ciclos de excentricidad, son conocidos en la actualidad por ser importantes, tanto en el control de la deposición carbonatada como en la karstificación (Wright *et al.*, 1991). Este factor se verá más claro si consideramos los efectos de los diferentes órdenes de cambios del nivel del mar:

- Durante los pequeños órdenes de cambio (4.º y 5.º orden), el tiempo de residencia de los sedimentos carbonatados en la zona meteórica será relativamente corto. Tales caídas de pequeña escala generarán poco relieve y el flujo de las aguas meteóricas será muy pequeño, dando como resultado poca disolución y cementación. Este flujo será de tipo difuso y las oportunidades del desarrollo del karst serán menores.
- Durante el aumento progresivo de la amplitud de los cambios (2.º y 3.º orden), dichos efectos serán más significativos, reflejando largas exposiciones que incrementan el relieve y el flujo. Éste pasará a ser de tipo conducto ampliando las formas kársticas y desarrollando cavidades.

El grado de karstificación en función de los cambios del nivel de base y cambios del nivel del mar, está relacionado con el tipo de material depositado, período de exposición, clima, relieve y balance entre la elevación tectónica y la erosión. Las cavidades de mayor dimensión se desarrollan normalmente asociadas con algún control tectónico. Por ejemplo, Palmer & Palmer, 1995, apuntan que los principales sistemas endokársticos en Estados Unidos están relacionados con grandes discordancias, reflejando importantes procesos tectónicos. Por tanto, se puede decir que la tectónica, desde un punto de vista global, juega un papel fundamental en el desarrollo de cavidades en rocas de cualquier litología, además de su implicación en otros fenómenos más locales (estructuras frágiles, que posteriormente facilitarán la circulación de agua a través de la roca)”.

Flor, 2005, explica también la importancia que las cuevas tienen en la interpretación de los paleoniveles marinos:

“La cueva de Sa Bassa Blanca (Alcudia, Mallorca) contiene un registro del último episodio interglaciar con un abanico de niveles comprendido entre el nivel freático actual, equivalente al nivel del mar, y +35 m y hasta la cota batimétrica de -15 m. Los análisis estratigráficos se realizaron a partir de testigos continuos de toda una serie de sondeos horizontales. Se han separado tres grupos de espelotemas, que contienen hasta 19 grupos de eventos, separados por sendas discontinuidades (contactos muy netos o intercalaciones de arcillas rojas), de los cuales el más antiguo indica un descenso del nivel del mar.

Los eventos iniciales se podrían correlacionar con el Siciliense I terminal, con una edad absoluta inferior a los 700.000 años, que está representado en el Mediterráneo por depósitos marinos a alturas de +80 m/+90 m. También se indentifica el Siciliense II (Milaciense), previo a la glaciación Mindel, que se correlaciona con depósitos conteniendo faunas cálidas a alturas de +50 m/+60 m. El Paleotirreniense (comprendido en el interglaciar Mindel-Riss, hace unos 300.000 años) contiene un evento intermedio de carácter regresivo; equivale a depósitos de playa elevados a una altura de +15 m/+35 m. Los eventos superiores son de edad Eutirreniense (datación isotópica de 115.000-200.000 años), perfectamente correlacionables con los depósitos situados en cotas comprendidas entre +1,6 m/+11,5

m. Finalmente, el último grupo de eventos está en consonancia con un clima tropical del que se conservan playas con faunas de moluscos característicos de tales condiciones”.

Por último, hablaremos sobre los cambios en el futuro, que con el presente panorama irían encaminados, por lo que se conoce hasta el momento, a un aumento paulatino pero continuo del nivel del mar.

Las previsiones acerca del nivel del mar en el futuro se basan en 7 modelos climáticos y 35 escenarios de emisiones de CO₂ (Flor, 2005). Para estos escenarios se parte de diferentes situaciones sociológicas a escala mundial que se centran en las emisiones de ese gas y su relación con el cambio climático. El modelo que se obtiene, incluyendo el derretimiento del Permafrost, la sedimentación y las contribuciones propias por parte de los casquetes glaciares como resultado del calentamiento climático desde el último máximo glacial, consiste en un rango de elevación del nivel del mar desde +0,11 m a 0,77 m, aunque con diferentes incertidumbres (*Op. cit.*). Para los 35 escenarios se estima un aumento del nivel del mar desde +0,09 m a +0,88 m entre 1990 y 2100, con un valor central de +0,48 m. Este último supone una tasa media de 2,2 a 4,4 veces superior al de todo el siglo XX. Los cambios estimados desde 1990 hasta 2100, en cuanto al proceso desencadenante, se reparten de la siguiente manera:

1. Expansión térmica de +0,11 m a +0,43 m, acelerando a lo largo del siglo XXI.
2. Contribución de los glaciares, de +0,01 m a +0,23 m.
3. Contribución de Groenlandia, de -0,02 m a +0,09 m.
4. Contribución de la Antártica, de -0,17 m a +0,02 m.

(Según http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wgl/430.htm, en Flor, 2005.)

Aunque no es posible estar completamente de acuerdo en la fundamentalización de los estudios sobre el ascenso del mar en la concentración de CO₂ inducido por las emisiones humanas, este panorama parece llevar a un escenario de aceleración de la erosión en las costas en general y rocosas en particular. Así, los ritmos de creación y dismantelamiento de cuevas y del retroceso de los acantilados se verán claramente

acelerados, ante lo cual las comunidades animales y vegetales se tendrán que ir acomodando mediante migraciones de corto trayecto.

Factores terrestres y atmosféricos que condicionan el modelado de las cuevas y su hábitat

■ Los patrones de fractura y la litología

Este factor viene siendo el principal a la hora de explicar forma, talla y evolución de muchas cuevas en las costas españolas.

En lo que se refiere al patrón de fractura, existen diferencias, en función de la orientación y la densidad, constituyendo el principal parámetro clasificatorio de las cuevas costeras en medio silíceo, como se verá más adelante en el apartado de clasificación de cuevas. Así, la relación entre profundidad y anchura responde, con extraordinaria fidelidad, a los parámetros estructurales que explican el retroceso de los entrantes costeros.

Las áreas con una densidad de fractura elevada suelen dificultar la formación de cuevas, pues el colapso es muy habitual por desprendimientos o caídas de bloques tras la socavación por parte del factor marino. Por contra, unos patrones con mayor espaciamiento entre líneas de debilidad favorecen el mantenimiento de las cavidades, pues los techos evolucionan más lentamente al ser menos sensibles a la acción de las aguas continentales. Son, en este caso, cavidades que progresan lentamente pero más duraderas y llegan a construir túneles rocosos que terminan por colapsar en áreas de cruce de grandes fracturas, dando lugar a bufaderos.

En lo que respecta a la litología, ésta condiciona de varias maneras: en primer lugar, por la naturaleza de la roca y su historia geológica; en segundo lugar, por su grado de meteorización; en tercero, por la posibilidad de contrastes litológicos.

Naturaleza rocosa e historia geológica

Este parámetro se refiere al tipo de roca, pues hay litologías más proclives a la formación de oquedades costeras, y a la historia geológica de la misma, sobre todo por lo que se refiere a los diferentes episodios tectónicos y de me-

teorización intensa sufridos a lo largo de la misma. Una litología muy favorable, en el caso de la costa gallega, es el caso de los materiales metamórficos, metasedimentarios, en concreto esquistos, metapsammitas y metapelitas, existentes en varias series de edad cámbrico-silúrica, como el complejo de MonteFerro-O Rosal, en el sur de la ría de Vigo, el de O Grove, en el extremo occidental de la península del Morrazo, o el de la Serie de Ordes, que presenta un frente costero muy extenso en el Golfo Ártabro.

El tipo de cuevas será, por lo tanto, diferente puesto que algunas rocas pueden presentar varias orientaciones de fractura por haber sufrido diferentes orogenias, con patrones densos, mientras otras presentan orientaciones muy selectivas. Así, la forma y talla de las cuevas será en ambos casos muy diferente. También importa, en el caso de las rocas ígneas, el carácter sinorogénico, postorogénico o preorogénico, por diferencias en dichos patrones, algo muy destacado en los materiales plutónicos del período en el que se incluye la orogenia Hercínica.

El grado de meteorización

Las costas en roquedos muy meteorizados no son buenos ambientes para la formación de cuevas. En muchos casos su ciclo es corto, pues la evolución o retroceso del acantilado es muy rápida y el colapso del techo de la cavidad, atacado por las aguas marinas y continentales, se acelera en el tiempo. Con todo, la erosión de los niveles alteríticos da paso en ese retroceso a la parte más sana del sustrato, y en él aparecen cuevas de grandes dimensiones pero de escasa profundidad, con un ancho superior a la profundidad y al alto. Esto se debe a los constantes hundimientos del techo ante la relativa debilidad de los materiales, no permitiendo largas galerías aunque sí un rápido retroceso marino a base de corredores. Son habituales las playas de cantos en la base, cantos que suelen corresponder a las partes rocosas más resistentes, por ejemplo de diques ácidos, pórfidos y cuarzos, en el caso de que existan.

Al contrario, las cuevas excavadas en materiales resistentes aportan mucha profundidad y altura, siendo habitualmente estrechas. En estos casos,

adquiere especial relevancia la variable estructural, en concreto la orientación y el buzamiento de los estratos.

Contrastes litológicos

Los contactos entre diferentes tipos de roca se manifiestan en la costa como debilidades a partir de las cuales se modelan entrantes costeros, cuevas y calas o ensenadas. Las cuevas aquí modeladas tienen un retroceso regular y monodireccional y acaban por redondear sus cavidades. La resistencia de las dos rocas enfrentadas debe ser similar, para que no se produzcan colapsos laterales que terminen por destruir el hábitat. Las cuevas de mayor talla sobreviven del enfrentamiento de litologías con un cierto grado de meteorización, mientras que las litologías muy resistentes, por ejemplo pizarras con un alto grado de metamorfismo y las cuarcitas, dan lugar a cuevas muy estrechas y rectilíneas.

■ El régimen de precipitaciones, la circulación de las aguas continentales y la frecuencia de temporales marinos

Puesto que las cuevas costeras dependen en su evolución, talla y colapso, de la actividad de las aguas continentales y del ataque marino, es importante anotar que los parámetros de precipitaciones, escorrentía y frecuencia de los temporales marinos, son básicos para entender el ritmo de evolución de las grutas litorales. Existen, pues, variaciones en función del régimen hídrico, puesto que los climas de precipitaciones torrenciales aportan más un proceso de erosión física momentánea que de meteorización continuada y desestructuración del edificio rocoso. La frecuencia de los temporales marinos, momentos de alta intensidad energética y baja frecuencia temporal, es una variable fundamental, pues los cambios en la costa, tanto en medio sedimentario como en frentes rocosos, se dan en este tipo de circunstancias. Además, estos episodios en los que se unen oleajes intensos, con sobre elevación de la cota marina por bajas presiones, suelen permitir el ataque en zonas habitualmente fuera del alcance de la lámina de agua, al mismo tiempo que el acompañamiento con fuertes precipitaciones facilita la existencia de presiones hidrostáticas extraordinarias provocadas por las aguas continentales reunidas en las fracturas y diaclasas.

■ El ritmo de karstificación: los factores relacionados con la disolución de las rocas calcáreas

El proceso de karstificación e irregularización de cavidades en rocas carbonatadas parte del poder de disolución de la caliza en aguas superficiales o sub-superficiales. La posterior formación de nuevas formas espeleológicas del tipo estalactitas deriva, a su vez, de la desgasificación hídrica por la diferencia de presión de CO₂ entre la atmósfera interna de la cueva y la existente en las aguas de infiltración que ya se enriquecieron en los horizontes orgánicos antes de colarse definitivamente por las fisuras rocosas de los techos de las cavidades. Ante esa desgasificación, el carbonato cálcico precipita, dando lugar a una espeleofoma positiva del techo, estalactita, si todo el proceso de desgasificación hídrica se realiza antes del goteo, y parcialmente en el techo y en el suelo de la cueva, estalagmita, si la gota cae antes de la llegada al equilibrio de presión de CO₂ entre la atmósfera de la cueva y de las aguas de infiltración.

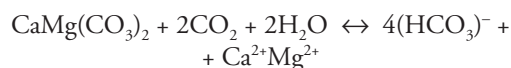
Garay & Robledo, 2008, en la ficha 8310, “Cuevas no explotadas por el turismo”, hacen las siguientes anotaciones:

“Entre las reacciones que controlan la disolución de materiales carbonatados, la más destacable es la disolución por ácido carbónico, muy frecuente en regiones templado-cálidas. El ácido carbónico puede resultar de la oxidación de materia orgánica. La mezcla de fluidos de distintas temperaturas y con distinta concentración de iones disueltos, con especial significación entre aguas marinas y dulces, es otro proceso muy común en zonas carbonatadas adyacentes al mar, como pueden ser islas o márgenes de plataforma. La disolución que deriva de cambios de temperatura en el fluido es poco frecuente, salvo en zonas con importante actividad tectónica o volcánica. Por último, aunque menos destacable que las anteriores, la disolución es posible por el contacto con gases que son agresivos para las rocas calizas.

El desarrollo del proceso de disolución en un sistema donde operan el CO₂, H₂O y CaCO₃ se puede simplificar en la reacción:



y en el caso de la dolomita



Así aparecen numerosas reacciones reversibles hasta llegar a un cierto equilibrio. Pero ése puede ser fácilmente alterado, según varíe:

- a) El flujo del agua
- b) La superficie de roca expuesta
- c) La temperatura
- d) Presión parcial de CO₂

“La variación de la disolución del carbonato en zonas superficiales y subsuperficiales no es únicamente dependiente del potencial químico para el proceso, sino también de la precipitación efectiva (precipitación menos evapotranspiración). Las medidas tomadas por Smith & Atkinson, 1976, sobre porcentajes de denudación en calizas en dos zonas muy representativas: de ámbito alpino, Alpes Julianos (antigua Yugoslavia) y tropical húmedo (Gunung Mulu, en Sarawak; Malasia) muestran una dependencia lineal de este factor. El resultado de su análisis permite afirmar que las rocas carbonatadas desnudas presentan menor denudación en climas alpinos y árticos que los terrenos de suelos cubiertos en zonas tropicales y templadas. Además, la precipitación está generalmente asociada con áreas montañosas y de considerable relieve o con la estacionalidad de la precipitación en los trópicos.

A partir de una muestra de 40 áreas kársticas representativas de diferentes ámbitos geográficos y geológicos de la España caliza (Península e Islas Baleares), Garay & Morell, 1989, también observan que se da una clara correlación positiva entre la precipitación eficaz y el valor de la “denudación específica” o karstificación. Los valores de la tasa de disolución kárstica actual varían (en los casos estudiados) entre los 9 m³/km² · año, de las calizas de los Páramos (Madrid) y los 148 m³/km² · año de los Picos de Europa.

Estos autores también aportan como interesante: “El concepto de disolución por mezcla de aguas fue explicado por Bögli (1964), desarrollando un modelo conceptual para la disolución basada en la presión parcial del CO₂ y en la mezcla de aguas de diferentes composiciones y equilibrios químicos. La simple mezcla de dos aguas saturadas en calcita pero con diferentes concentraciones iónicas, o a diferentes temperaturas, provoca un desequilibrio de mezcla subsaturada, con lo que el proceso de disolución puede proseguir. La capacidad de disolución que se deriva de la mezcla de fluidos diferentes fue demostrada teóricamente por Runnels, 1969; Plummer,

1975 y Wigley & Plummer, 1976, mediante modelos teóricos para la evaluación de este fenómeno. Esta evolución del proceso se puede producir en aquellos acuíferos carbonatados donde la mezcla de aguas mantiene el equilibrio con diferentes Pco₂ (Smart & Whitaker, 1991).

No sólo los diferentes porcentajes de la Pco₂ en la mezcla de aguas pueden provocar importantes procesos de disolución. Las diferencias de salinidad, temperatura y composición iónica de la solución, juegan un papel muy importante en este proceso. Plummer (1975) calculó el efecto neto de esos parámetros mediante la saturación de la calcita con la mezcla de aguas subterráneas dulces con aguas salinas”.

Dentro de los ritmos de karstificación interesa también el potencial de disolución. En litologías karstificables, como calizas, dolomías, calcoesquistos, etc., existen factores diferenciados a los de litologías silíceas, como son los procesos de disolución, factor que determina profundamente la evolución de las cuevas.

Según Garay & Robledo, 2008, la permeabilidad en rocas karstificables es un factor importante, puesto que determina la tasa de circulación de fluidos. Estos autores anotan que la permeabilidad, que tiene dimensiones de velocidad, es la capacidad que tiene una roca de permitir el paso de un fluido (agua, petróleo, gas) en condiciones determinadas de presión y temperatura. Por tanto, las cavidades se pueden cuantificar tanto en volumen de poro como en permeabilidad. Esta propiedad está gobernada por la ley de Darcy:

$$Q = K \cdot S \cdot P / \nu s \cdot e$$

Donde *Q* es el caudal, *S* es la sección de roca considerada, *e* el espesor de la roca, *P* la presión, *νs* la viscosidad del fluido y *K* el coeficiente de permeabilidad absoluta.

También hacen hincapié en la porosidad (volumen de huecos de la roca respecto al volumen total de ésta), que es un índice que hace referencia al conjunto de los huecos de la roca que pueden almacenar y luego ceder agua gravífica. Es más conocido como “porosidad eficaz” o como “coeficiente de almacenamiento” (este último cuando se tiene en cuenta la compresibilidad de la roca y del agua; en acuíferos confinados).

La permeabilidad no está siempre directamente relacionada con el tamaño de los poros ni con la porosidad absoluta (volumen de la cavidad), sino con la conectividad que existe entre éstos. Autores como Guilleson (1996) hacen hincapié en la importancia de las cavidades de gran tamaño como control del sistema hidrogeológico.

Estos autores también anotan otro factor de importancia para las cuevas en medio calizo, no lejano al que ocurre en cuevas silíceas. Se trata de la fractura y la microestructura. Nos ilustran estos autores que el karst constituye un medio anisótropo, donde los flujos son preferentes en determinadas direcciones y apenas se dan en otras. Existen diversos tipos de discontinuidades y de fracturas en el seno de una roca karstificable, y ello permite entender que exista dicha anisotropía, pero de entre todas estas estructuras, las hay que son de pequeño tamaño (microestructuras) pero totalmente penetrativas en el conjunto de la roca. Son realmente *tectoglifos* que se han ido “grabando” en el seno de la roca a lo largo del tiempo y como consecuencia directa de los diferentes estados tensionales que se han ido sucediendo por causas y variaciones tectónicas. Eraso (1985-86); y Eraso *et al.* (2000) han puesto de manifiesto que el análisis interpretativo y estadístico de estos tectoglifos permite predecir y cuantificar las direcciones preferentes de drenaje en el karst, tanto de las cuevas y los sistemas cavernarios como de los flujos hidrodinámicos en los acuíferos.

2.4. SUBTIPOS DE CUEVAS COSTERAS

Se podrían desarrollar diferentes clasificaciones tipológicas de cuevas costeras en función de su posición respecto al nivel medio marino, a su tamaño, a su forma y a su génesis, pero parece interesante presentar primeramente una clasificación fundamentada en las grandes familias litológicas sobre las que se dan estas geoformas, puesto que la génesis y la evolución de las mismas se verán muy condicionadas por este factor.

Subtipos de hábitat en función de la litología

La evolución geomorfológica de las cuevas depende, como se ha visto, de numerosos factores de tipo climático, oceanográfico y geomorfológico, pero quizá

el que determina la forma final de las cuevas, su desarrollo en tamaño y, por lo tanto, las comunidades vivas que lo habitan, es la naturaleza del sustrato. Por esta razón nos ha parecido importante supeditar el resto de posibles clasificaciones a una que parta de los grandes dominios litológicos. La importancia del roquedo es clara a la hora de entender la respuesta de los diferentes sectores acantilados a los agentes erosivos (Sanjaume Saumell, 1985). Así, influyen la diferente resistencia, la porosidad, la fisuración, la estratificación y el buzamiento de cada material.

I. Cuevas en dominio silíceo

Se trata del dominio más heterogéneo de los tres. Las diferencias de resistencia entre cuarcitas, esquistos, pizarras, granitos, granodioritas, gneises, etc. condicionan verdaderamente los tipos y tamaños de las oquedades costeras. Con todo, a partir de un estudio piloto realizado en la costa lucense (López Bedoya & Pérez Alberti, 2007), sobre materiales de tipo esquistoso, pizarroso y cuarcítico, y las conclusiones obtenidas de observaciones visuales en otros tramos de costa de Galicia y Asturias, también sobre materiales metamórficos además de ígneos, ha llevado a proponer la siguiente clasificación de concavidades costeras.

Las cuevas, *furnas* o *covas* en gallego, son oquedades continentales en el frente acantilado que se encuentran favorecidas por fracturas o por la estructura del roquedo en general, debido al grado de meteorización de los materiales, cuando no a la alternancia de rocas de diferente resistencia. Tradicionalmente, se ha aceptado la acción marina de impacto directo como factor principal de su dinamismo pero en su evolución no se puede obviar, sobre el terreno, la importancia de la acción de las aguas continentales en estado sólido o líquido, de la haloclastia y de la bioerosión. La gravedad actúa como movilizador final de los paralelepídeos individualizados.

Así pues, son muchos los elementos que hay que valorar para entender la dinámica de las *furnas*: tectónica, litología, precipitaciones, red de drenaje, meteorización física y química, son palabras claves que se activan, en mayor o menor medida y con desigual frecuencia, para configurar cada ejemplo de *furna*. De cara a su caracterización, nos hemos centrado en la variable estructural, combinando fractura y litología.

Aunque el diseño de su entrada es la base de la clasificación final, es necesario apuntar que la profundidad es otro parámetro que aporta importantes datos sobre la naturaleza de las *furnas*, sus condicionantes tectónicos, su evolución futura y el estado de meteorización de los materiales. La relación entre profundidad y anchura responde, con extraordinaria fidelidad, a los parámetros estructurales que explican el retroceso de los entrantes costeros. Las cuevas elaboradas en un frente acantilado muy meteorizado son de grandes dimensiones pero de escasa profundidad, con un ancho superior a la profundidad y al alto. Esto se debe a los constantes hundimientos del techo ante la debilidad de los materiales, no permitiendo largas galerías aunque sí un rápido retroceso marino a base de corredores. Además, como testimonio de su dinamismo, presentan habitualmente una playa de cantos en su base o una acumulación de grandes bloques. Las cuevas labradas en materiales muy resistentes presentan notorias profundidades y alturas, siendo menor la dimensión de anchura. Esta última variable depende también, en gran medida, de la orientación y el buzamiento de los estratos.

La base rocosa de las cuevas suele estar fosilizada por un relleno sedimentario que responde a una naturaleza diferenciada en función de la disponibilidad de arena, bloques o clastos de tamaños intermedios. Estos depósitos no difieren mucho de los que se pueden encontrar en calas y entrantes costeros próximos a las cuevas, quizá porque muchos de esos entrantes han contenido cuevas que han colapsado modificando su hábitat definitivamente a un 1210 Vegetación efímera sobre desechos marinos acululados, 1230 Acantilados con vegetación de las costas atlánticas y bálticas, 1240 Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con *Limonium* spp. endémicos o 1250 Acantilados con vegetación de las costas macaronésicas.

Los *coídos*, playas de cantos, son acumulaciones de bloques relativamente abundantes en ciertos sectores de la costa de Galicia. Dentro de ellos se pueden diferenciar varios tipos (Pérez Alberti & López Bedoya, 2003): 1) derivados de núcleos graníticos exhumados; 2) derivados de la fragmentación de la roca; 3) derivados del retrabajamiento de depósitos continentales; 4) derivados de cantos y bloques desprendidos, y 5) mixtos. A su vez, se pueden clasificar en función de su morfometría o de su emplazamiento. En las cuevas silíceas, pueden aparecer prácticamente todos los tipos apuntados, exceptuando el primero, de muy difícil aparición en cuevas costeras.

Los *coídos* constituyen un tipo de hábitat de notable interés *per se*, no considerados hasta el momento presente debido a que ni se pueden considerar playas de guijarros, dado el tamaño de los bloques, ni siempre están asociados a los acantilados, aunque en su mayor parte se encuentran al pie de acantilados y encima de plataformas antiguas o cuevas en áreas de alta energía, lo que explica tanto la fragmentación del roquedo como los posteriores procesos de desgaste. Los cantos suelen tener un tamaño menor al metro y su grado de redondez es mayor.

Se propone, a continuación, una clasificación morfológica de las cuevas del dominio silíceo basada en observaciones de campo en diferentes ambientes litológicos y tras el desarrollo de un estudio piloto en la costa cántabra lucense, sobre materiales esquistosos, pizarrosos y cuarcíticos:

Es posible realizar una dicotomía clasificatoria de cuevas en función de su posición relativa con respecto al nivel del mar actual. Así, hay cuevas fósiles, aquéllas que derivan de paleoniveles marinos y que hoy pueden estar colgadas en la pared del acantilado, y cuevas activas, que se encuentran semisumergidas o sujetas a la acción marina directa actual. Si bien en el Mediterráneo y sobre litologías kársticas ha sido demostrada su existencia en numerosas ocasiones, en medio atlántico y en dominios silíceos, graníticos y metamórficos, existe un vacío informativo en este sentido. Su número es muy inferior al existente en las calizas de la costa mediterránea, pero además es necesario aún demostrar cuánto papel corresponde a la actividad de las aguas continentales y cuánto a la paleoacción marina.

Centrándose en las cuevas activas, se puede anotar la siguiente clasificación.

1. Simples o de una boca

a) *De control litológico*

a1) Derivadas de erosión diferencial.

La puesta en escena de materiales de resistencia diferenciada, como las pizarras y las cuarcitas, es suficiente para el modelado de cuevas. El techo de la cueva suele localizarse en el contacto entre los dos materiales, debido a un diferente comportamiento erosivo entre ellos. Si la roca más resistente

sufre un escalonado gradual en profundidad, la parte inferior de la *furna*, compuesta por el material menos resistente, se encuentra socavada intensamente y de manera diferencial por la acción marina.

Aparecen así perfiles internos cóncavos, cuya amplitud depende del dominio de uno u otro material.

- a2) Derivadas de una alteración generalizada. En la mayoría de los casos, el factor que origina la degradación de estas cuevas está relacionado con el buzamiento de los estratos y la orientación de las fracturas. En efecto, la aparición de rocas con fuertes buzamientos, superiores a los 75 grados, o la presencia de una red de fracturas tendente a la subverticalidad, facilita la acción de las aguas continentales y cataliza los procesos de meteorización en la parte alta e intermedia de los acantilados. Cuando la socavación marina alcanza el nivel meteorizado, la cueva pasa a comportarse evolutivamente de manera dependiente de los procesos de degradación litológica, abandonando el peso de la estructura rocosa como factor fundamental.

i) Regulares.

La presencia de una fuerte meteorización puede eliminar las marcas estructurales de los materiales, permaneciendo sólo las fracturas más importantes que, sin embargo, en este caso, no constituyen elementos claves para la comprensión de la dinámica del acantilado. El sustrato se comporta como una masa bastante regular que sufre numerosas caídas de bloques por la acción marina, o debido a la acción de las aguas continentales y la transformación mineralógica que inducen en la roca. Los retrocesos son rápidos y los colapsos constantes. No presentan profundidades notables y sí dimensiones de anchura y altura notorias.

ii) Irregulares.

La meteorización del acantilado puede no ser total, sino responder a una degradación selectiva relacionada con la diferente composición de los materiales o con la red de fracturas por las que la

lluvia incrementa su actividad erosiva. Puede aparecer así un cromatismo moteado de colores ocres o rojizos con los propios de la roca sana, lo cual indica esa meteorización selectiva. A partir de esta situación existen caídas o colapsos selectivos debido a la existencia de fracturas o según las áreas de mayor o menor resistencia rocosa.

b) *De control tectónico*

b1) De fractura/s monodireccional/es y variaciones en el buzamiento de los estratos.

Excluyendo aquellas cuevas cuyo grado de meteorización es elevado, es clave, para poder entender la gran variedad de subtipos, tener presente las diferentes variables que entran en juego. Las posibilidades son amplias, al existir multitud de combinaciones. Entre ellas destacarían:

Fractura Vertical - estratigrafía vertical; Vertical - oblicua; Vertical - horizontal; Oblicua - vertical; Oblicua - oblicua; Oblicua - horizontal; Horizontal - horizontal; Horizontal - oblicua; Horizontal - vertical.

b2) De fracturas bidireccionales.

En realidad, la bidireccionalidad en sentido estricto no abunda. Lo que suele mostrarse en muchos casos es una multidireccionalidad con mayor importancia en dos direcciones concretas, de tal manera que la jerarquía de fracturas se traduce en un claro control sobre el perfil interno y la evolución de la *furna*, que presenta finalmente dos direcciones principales de progresión.

b3) De fracturas multidireccionales.

Muchas de las cuevas de la costa de Ribadeo presentan una fractura multidireccional. No conllevan, sin embargo, un socavamiento pronunciado en los acantilados, presentándose como amplias muescas cuya evolución no concentra el retroceso en un punto concreto visible. En todo caso, no son pocos los casos en los que el efecto de la multidireccionalidad de fractura se convierte en actor principal del dibujo en planta interno de la gruta y en alzado de su boca.

b4) Derivadas de una tectónica de plegamiento. Algunas cuevas están afectadas, en su carácter formal, por la existencia de plegamientos que orientan estratos de diferente resistencia. Ello aporta la posibilidad de la aparición de perfiles curvos no debidos a la acción abrasiva o de arranque marino.

b5) Dependientes del buzamiento de los estratos. Existen múltiples posibilidades en función de esta variable: verticales, horizontales y oblicuas. No existiendo direcciones de fractura marcadas, el buzamiento de los estratos se conforma en la linealidad a seguir por la acción marina para horadar los acantilados de manera ordenada.

c) *Debidas a la diferente concentración energética marina*

Aparecen allí donde no existen direcciones de fractura preferenciales y la litología es homogénea. Se presentan como una concavidad más o menos regular en todas sus dimensiones. Se desarrollan en las puntas o salientes rocosos donde los sectores isoenergéticos descritos por las ortogonales al patrón del oleaje y el propio patrón son de menor superficie y, por lo tanto, concentran poder energético.

2. Complejas o de dos bocas: arcos y túneles

La evolución de una furna puede determinar la aparición de un túnel rocoso o de un corredor direccional, en función de la resistencia de los materiales y su disposición a sufrir colapsos.

a) *Arcos rocosos*

Constituyen pasos subterráneos de algunos metros de longitud y variables dimensiones de ancho y alto, siendo esta última medida la más elevada, al tratarse de formas bastante evolucionadas.

Su aparición proviene de la evolución, en un eje teórico de debilidad, de dos cuevas que evolucionan en sentidos opuestos. Salvo raras excepciones, se trata de una fractura de cierta importancia y sobre materiales de notoria resistencia, que limitan el colapso y la desaparición del arco a favor de la aparición de una columna rocosa. Esta evolución es uno de los procesos geomorfológicos más asimilados por el saber popular. Un hermoso ejemplo se puede observar en la costa ribadense de *As Catedrais*, próximo al arco más occidental y que debió de ser un cuarto arco lateral no hace demasiado tiempo.

b) *Túneles*

Diferenciamos los túneles rocosos de los arcos mediante la longitud y profundidad del paso subterráneo, alcanzando los últimos dimensión decamétrica.

La evolución de los túneles tiene dos caminos diferentes que clasifican otros tantos tipos:

b1) A partir de dos cuevas que evolucionan en sentido opuesto.

Tal como se ha descrito para los arcos, ocurre a partir de fracturas de importancia, aunque de manera bastante desigual en función de la diferente energía marina en cada una de las bocas.

b2) A partir de una boca de entrada, cueva, que se va proyectando continentalmente.

Ésta, en unión de otros túneles o fracturas de diferentes direcciones, crea una cámara subterránea que acaba colapsando y formando un bufadero.

A continuación se muestran dos figuras (ver figuras 2.5 y 2.6) con diferentes tipos y casos de cuevas costeras. Se han realizado en trabajo de campo para la costa de Ribadeo y proceden de casos reales. Se han extraído del trabajo: López Bedoya y Pérez Alberti, 2007, *La costa de Ribadeo*. Plancha fuera de texto, En Pérez Alberti *et al.*: *Itinerarios geomorfológicos por Galicia*. (GIXA – USC).

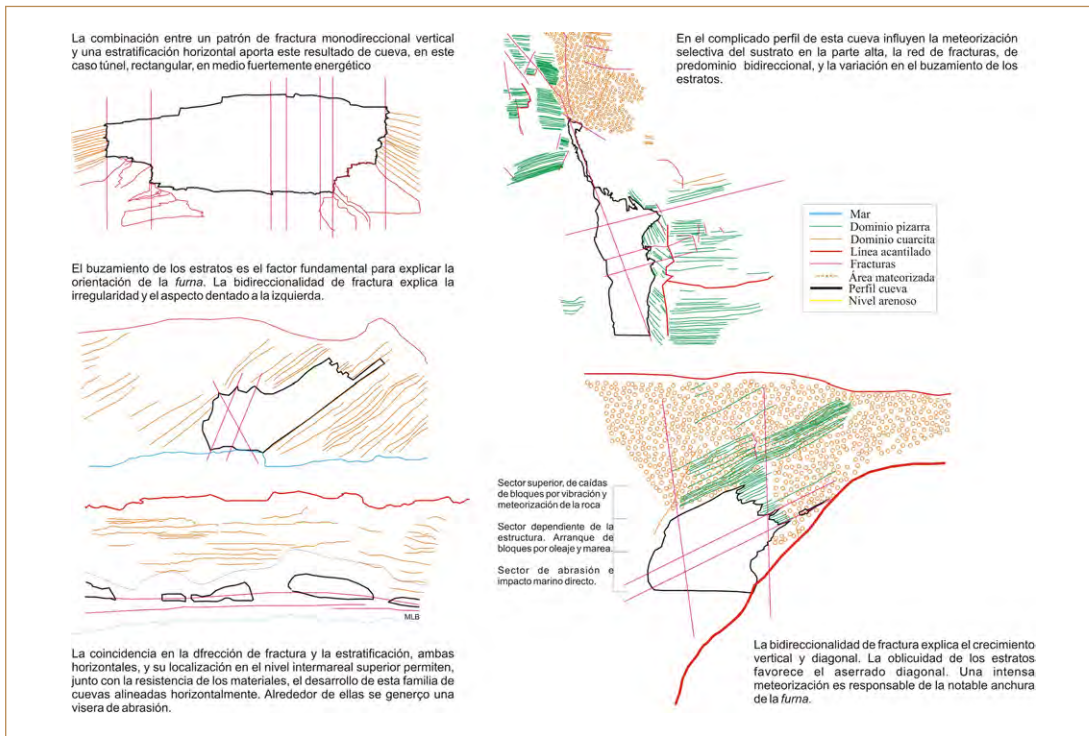


Figura 2.5

Tipos y casos de cuevas costeras.

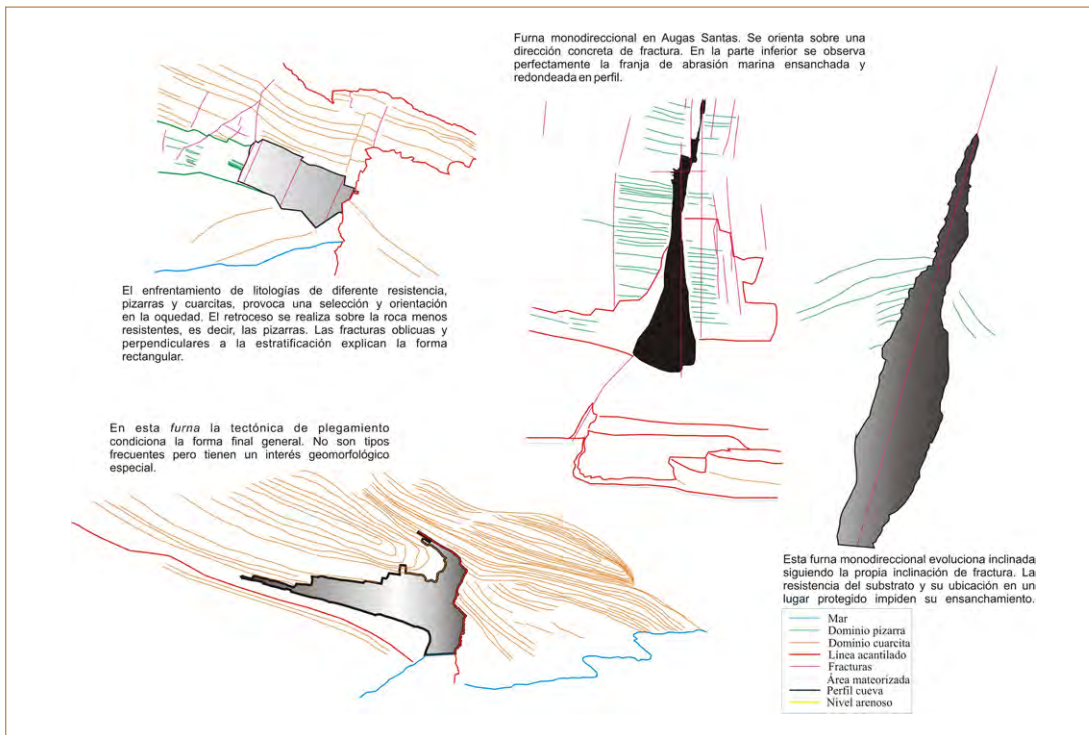


Figura 2.6

Tipos y casos de cuevas costeras.

II. Cuevas sobre materiales calizos (sedimentarios en general)

Aunque la clasificación que se presentó anteriormente está ideada sobre costas acantiladas de tipo metamórfico, su fundamento estructural puede ser perfectamente aplicado a costas de litologías diferenciadas. Sanjaume Saumell, 1985, aporta la importancia de la existencia de grietas y fisuras, de diaclasas y fracturas en general, para el retroceso y evolución de acantilados y para la apertura de cuevas costeras en rocas sedimentarias, en especial para calizas. Para el caso concreto de una forma evolucionada de cuevas, los *bufaderos*, demuestra también la importancia de la acción hidráulica marina en su génesis, siempre a partir de la existencia de diaclasas existentes en el perfil emergido facilitando la ampliación de las líneas de debilidad. También Gràcia *et al.*, 2001, en lo que denominan “coves d’abració marina”, indican que se trata de cavidades de erosión marina en las cuales los procesos de erosión litoral actúan aprovechando los puntos débiles de la roca, es decir, fracturas, diaclasas, juntas de estratificación y la heterogeneidad de los materiales. Estos autores anotan un ejemplo clave que ayuda a entender la importancia del factor estructural como base para la clasificación de cuevas costeras: la cova Negra, que es una cavidad de abrasión marina de 200 m de longitud que debe sus considerables dimensiones y su agrandamiento al aprovechamiento de fracturas verticales en la roca.

Es cierto que los procesos de disolución son muy importantes en la evolución de las cuevas en zonas con litologías karstificables, pero el inicio y, por lo tanto, la génesis de los diferentes tipos de cuevas es finalmente la predisposición de las líneas tectónicas y estructurales en general a ser trabajadas por la acción mecánica marina. En este sentido, Zenkovich en 1967 (Sanjaume Saumell, 1985) asume el papel secundario de los procesos de disolución incluso en el desarrollo de las costas calcáreas, aunque reconoce su papel en la modificación de los principales elementos del perfil costero y en la aceleración de los estados iniciales de erosión.

En la obra de esta autora sobre las costas valencianas, que se podría extrapolar al resto del territorio mediterráneo español, no se deja de hacer hincapié en cómo la disposición de las líneas de debilidad acaba por condicionar la forma y evolución de las cuevas costeras.

También se resalta la existencia de salas de disolución, anotando la importancia de este fenómeno en la evolución de las cuevas en zonas calizas. Esta ampliación por disolución es un trazo evolutivo diferencial con respecto a las cuevas sobre litologías silíceas, las cuales evolucionan siempre por impacto y arranque o desplome de bloques por la acción hidráulica y la compartimentación tectónica.

Además de esta clasificación basada en el papel conjunto de la litología y la tectónica, existen otras posibilidades de clasificación, propias ya de litologías karstificables. Una de gran interés es evidenciada por Ginés, *et al.*, 2007, que muestran la importancia de los cambios del nivel del mar en la configuración de las oquedades de la franja costera. La clasificación se puede realizar a partir del tipo de interferencias entre el modelado endokárstico y la dinámica litoral.

1. Cavidades de génesis marina que capturan fenómenos endokársticos preexistentes.
2. Cuevas kársticas que han sido alcanzadas y parcialmente desmanteladas por la erosión marina.
3. Cuevas kárstico-marinas modeladas por los cambios del nivel marino.

Estos tres posibles tipos conllevan morfologías diferenciadas y una zonificación y composición biológica originales, pues la distribución y el número de ambientes varían notablemente.

Por último, se puede anotar que dentro de las litologías kársticas existen diferentes potenciales de karstificación y que, en este sentido, es posible realizar también una clasificación de las cuevas en general, y costeras semisumergidas y sumergidas en particular. Una clasificación que consideramos de mucho interés es la aportada por Garay & Robledo, 2008, en la ficha 8310 “Cuevas no explotadas por el turismo”. Según estos autores, atendiendo a la naturaleza litológica del karst, podrían establecerse, al menos en el ámbito peninsular, los siguientes subtipos:

- K1: karst carbonatado (en calizas y/o dolomías), donde el principal proceso es la descarbonatación (o proceso kárstico *sensu stricto*).
- K2: karst yesífero (en yesos, incluso puntualmente en anhidrita), siendo la disolución simple el proceso principal, a veces acompañado de hidratación/deshidratación de la roca (yeso-anhidrita-yeso).

- K3: karst salino (en sales, principalmente halita), por disolución simple.
- K4: karst silíceo (en rocas cristalinas y silíceas, como granito, cuarcita, etc.), producido por hidrólisis de los feldespatos y disolución lenta de la sílice (a veces favorecida por pretéritos episodios termales).
- K5: karst detrítico (en areniscas, conglomerados, brechas, etc.), donde los componentes minerales pueden ser muy diversos e incluso tener una composición heterogénea. Por ello, además de los procesos anteriores, pueden concurrir mecanismos de sufusión-tubificación más o menos combinados con el proceso típicamente kárstico (descarbonatación).

III. Cuevas originadas en rocas volcánicas

No se han encontrado clasificaciones de cuevas costeras originadas sobre materiales volcánicos, aunque éstas responderán notablemente en su evolución a los mismos parámetros estructurales apuntados en la clasificación para rocas silíceas metamórficas e ígneas, estando también condicionadas por otros parámetros originales de los territorios de origen volcánico.

Por proximidad temática; se puede entonces echar mano de las clasificaciones realizadas para cuevas volcánicas en general, como la propuesta por Montoriol & Pous, 1972, realizada para las Islas Canarias. Garay & Robledo, 2008, presentan esta clasificación en la ficha 8310 “Cuevas no explotadas por el turismo”, haciendo algunas referencias a la posibilidad de que algunos tipos de ellas compartan espacio marino o anquihalino y, por ello, puedan ser incluidas en el tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas que aquí se trata. A continuación se reproduce parte del texto aportado por estos autores:

“En esta clasificación, que queda resumida en el cuadro siguiente, diferencia dos grandes conjuntos: el de las cavidades “primarias” (formadas a la vez que la roca que las contiene), que él denomina Singenéticas, y el de la “secundarias”, que refiere como Epigenéticas.

Las cavidades reogenéticas son concretamente los tubos de lava, que se forman siempre en las laderas de conos volcánicos y pendientes por donde pueda fluir más o menos confinada la lava. El primer

1. SINGENÉTICAS
1.1. Reogenéticas
1.1.1. Subterráneas
1.1.2. Subaéreas
1.2. Neumatogenéticas
1.2.1. Explosivas
1.2.2. Cutáneas
1.3. Fractogenéticas
2. EPIGENÉTICAS

subtipo corresponde claramente a las cuevas propiamente dichas, a las que se puede acceder bien por su extremo superior (por donde se originó el tubo) o bien a través de cualquier hundimiento puntual de la bóveda. En cambio, el segundo subtipo (“reogenéticas subaéreas”) se debe entender que son cavidades más propias del tipo de hábitat 8320 “*campos de lava y excavaciones naturales*”; dentro de ellas habría todavía dos modalidades: las serpentiformes (más parecidas a tubos que no tienen el techo completamente cerrado) y las embudiformes (más relacionadas, quizá, con colapsos o simas de hundimiento).

Las neumatogenéticas pueden entenderse como burbujas o concentraciones de gases (salas) que escapan a la atmósfera abriendo repentinamente un boquete en su fina y semifundida cubierta cenital. Al interior de esta sala o “burbuja” suelen afluir, con tendencia más o menos radial, pequeños conductos o “gateras”, no siempre practicables.

Las fractogenéticas serían cavidades de pequeño tamaño y en forma de grieta o rimaya que se formaría transversalmente al flujo de la lava en ciertos lugares que presentan cambios de pendiente o superación de ciertos obstáculos.

Por último, las cavidades epigenéticas podrían ser entendidas como cualquier tipo de cavidad formada en la lava ya consolidada por efecto de procesos secundarios, tales como vaciados por erosión, sufusión o *piping*, etc. En general, estaríamos hablando de cavidades de escaso desarrollo y quizás más propias de ser consideradas en el tipo de hábitat 8320 “*campos de lava y excavaciones naturales*”.

Si bien los tubos de lava son los fenómenos espeleológicos más destacables de los terrenos volcánicos, también ha sido destacable durante las últimas dé-

cadras la exploración de simas con profundidades de varias decenas de metros. Al parecer, se encuentran ligadas a antiguos conductos de salida de gases, en ocasiones en el interior del cráter. Este tipo de cavidades no fue tenido en cuenta en la mencionada clasificación de Montoriol y Pous pero podría tener cabida en ella como una tercera modalidad de cavidades Neumatogénicas.

Por otra parte, aunque generalmente no resulte relevante la ocasional presencia de agua —siempre escasa— en los tubos de lava y demás cavidades volcánicas, se sabe que algunos tramos pueden estar encharcados, e incluso inundados, y desarrollarse —a veces varios kilómetros— por debajo del fondo marino. El caso más conocido es el del llamado Túnel de la Atlántida, en realidad una continuación submarina (con acceso terrestre) del mismo tubo volcánico o sistema de tubos que constituye la Cueva de los Verdes y los Jameos del Agua (Lanzarote).

Así pues, al igual que en las cavidades kársticas, también aquí podría plantearse una diferenciación entre cavidades secas, cavidades parcial o estacionalmente inundadas y cavidades sumergidas (quizás anquihalinas):

- Subtipo volcánico de “cuevas vadosas”
- Subtipo volcánico de “cuevas inundadas” (quizás anquihalinas o incluso marinas)

Otra clasificación de cuevas volcánicas nos acerca a un concepto poco tratado inicialmente: el del tamaño de las cavidades costeras. Howarth, 1983, para cavidades en terrenos volcánicos, distinguió tres clases de tamaños significativos de cara a la habitabilidad de las cuevas: las macrocavernas, mayores de 20 cm, las mesocavernas, de 0,1 cm a 20 cm, y las microcavernas, con dimensiones menores a 0,1 cm. Biológicamente, la primera admitiría a grandes vertebrados, la segunda se caracterizaría por un clima favorable a los artrópodos cavernícolas, mientras que la tercera es demasiado pequeña para la mayoría de los artrópodos cavernícolas. Esta clasificación es muy interesante, no sólo para terrenos volcánicos, sino también para el resto de las litologías, pues se tiende a excluir de las cavidades costeras sumergidas y semisumergidas las pequeñas oquedades en las paredes acantiladas, cuando éstas son capaces de aportar vegetación y fauna diferenciadas del resto del frente acantilado, con especies acostumbradas a vivir en la penumbra. Un caso in-

teresante, en este sentido, es el del isópodo *Ligia oceanica*, que habita agujeros supramareales de varios centímetros buscando cobijo diurno con oscuridad hasta el desarrollo de su ciclo alimenticio nocturno.

IV. Cuevas modeladas sobre sedimentos recientes

Una característica definitoria de la costa atlántica del noroeste de la Península Ibérica es la existencia de gran cantidad de depósitos antiguos que cubren muchos tramos del litoral (Costa Casais, 1995; Costa Casais, *et al.*, 1996). Los depósitos están compuestos por secuencias deposicionales variadas, lo que trae consigo la presencia de una composición granulométrica heterogénea, y han sufrido a lo largo del tiempo una evolución morfosedimentaria bien definida. Por otra parte, son el reflejo de los cambios que experimentó la costa a lo largo del tiempo, producto de, por un lado, el juego de regresiones y transgresiones marinas en relación a la variabilidad climática y, por otro, de las condiciones locales de deposición. A nivel individual, las características que los definen están en función de a) su localización, b) área fuente, c) asociación de facies sedimentarias y d) forma.

Los depósitos costeros en la actualidad están sometidos a procesos de erosión intensos, lo que dificulta valorar su extensión en el momento postdeposicional.

Por lo general, alcanzan mayor potencia las facies de origen continental y en la actualidad actúan como acantilados activos, afectados por procesos erosivos, principalmente marinos, y en menor medida subaéreos. Su desmantelamiento deja en resalte formas litorales heredadas del pasado (Blanco Chao & Pérez Alberti, 1996; Pérez Alberti, *et al.*, 1997).

La evolución general de los depósitos se enmarca en el período que se extiende desde el Eemiense (130.000 años) hasta el Holoceno. Dataciones radiocarbónicas en depósitos localizados al sur de Galicia, en San Xián y Oia (Cano, *et al.*, 1997) y en Caamaño (Costa Casais, 1995) permiten establecer dos momentos de formación de suelo en el Pleniglacial Medio. Uno, en torno a los 40.000-30.000 BP (San Xián IV: 38.830 ± 2.200 BP; Oia Sur: 32.980 ± 530 BP; Caamaño 36.050 ± 1.430-

1.210 BP y 32.340 ± 2.400-1.800 BP) y otro en torno al 30.000-20.000 BP (San Xian I en 28.000 ± 230 BP; Camaño: 30.120 ± 670-620 BP y 20.160 ± 270 BP).

En estos depósitos, abarcando tanto la parte inferior de la potencia de los mismos como el sustrato rocoso sobre el que descansan, se han excavado cuevas de los diferentes tipos anotados para el dominio silíceo, con edades inferiores a los depósitos, asociándose así al último período transgresivo. Las cuevas modeladas sobre sedimentos recientes presentan un comportamiento mucho más activo, ofrecen un mayor grado de movilidad dominando en ello tanto el lavado como, de manera especial, los desprendimientos o los deslizamientos. La vegetación asociada a los mismos es en parte similar, pero aporta nuevos taxones en función de unas diferentes condiciones de humedad y edáficas en general.

En estas cuevas puede presentarse un tipo de coídos, ya anotado tipológicamente al principio del apartado del dominio silíceo, a partir del desmantelamiento de los depósitos de origen continental generados, como ya se ha dicho, en un ambiente frío. Son abundantes en toda Galicia destacando las acumulaciones existentes entre Cabo Touriñán y Muxía o al sur de Cabo Silleiro, en el tramo que se alarga hasta la frontera con Portugal. Ofrecen una gran variedad granulométrica, principalmente a consecuencia de la propia diversidad de facies que presentan los depósitos. Existen algunas cuevas en la Costa da Morte, que contienen *coídos* de este tipo en cuevas del tipo que estamos tratando.

2.5. EXIGENCIAS ECOLÓGICAS

Factores y procesos naturales que controlan la presencia de vegetación y fauna de las cuevas costeras

La acción combinada de olas y mareas

La acción marina combinada de oleaje y mareas, marcada por las intensidades y frecuencias de estos parámetros a lo largo del año, es el principal factor evolutivo y, por lo tanto, condicionador del poblamiento ecológico en las cuevas marinas. En numerosas cuevas analizadas en el litoral existe una serie de regularidades en procesos y evolución geomorfo-

lógica que permite establecer una zonación en altura consistente en tres sectores controlados por distintos factores. Esta acción marina está muy relacionada con el grado de estabilidad de las geoformas, a la vez un importante condicionante de la colonización y evolución de las comunidades vivas:

Una franja inferior, de desgaste marino, alcanzada por la acción mareal y que dimensionalmente depende de la localización relativa del socavón rocoso respecto a esta variable marina. Se puede observar por un ensanchamiento redondeado de las paredes que responde a la acción abrasiva directa del mar. Es habitual la desaparición o enmascarado de las líneas estructurales del sustrato. En su parte superior se localiza una actividad biológica importante.

Un segundo sector suele coincidir con un leve estrechamiento de la oquedad, salvo que la red de fracturas imponga lo contrario. En él los temporales actúan sobre los estratos fundamentalmente mediante el impacto, lo que favorece la extracción de bloques por actividad marina en función de los parámetros estructurales. Muestra habitualmente un aspecto aserrado.

Por último, se distingue una tercera área: la superior, en donde el factor de impacto marino disminuye, salvo situaciones hidrodinámicas o topográficas muy favorables. En ella, cuando existen fracturas abiertas en el techo, la evolución se ve condicionada por la acción de las aguas continentales y por la caída de bloques en relación a las vibraciones provocadas por el impacto marino. El estado de meteorización del sustrato rocoso y el dominio de determinadas direcciones de fracturas se contraponen para dar lugar a perfiles más redondeados o irregulares, multidireccionales u orientados en una dirección concreta.

Al igual que en la dimensión vertical, la hidrodinámica existente a lo largo de los corredores internos de las *furnas* y los túneles rocosos presenta también una zonación que es interesante anotar.

La parte externa, la de la boca orientada hacia el mar, es la que presenta una mayor anchura, pues recibe el intenso ataque marino —salvo que el sustrato sea muy resistente y exista en el interior un área meteorizada—. En su parte inferior se

desarrolla una balma más o menos ampliada y desigual en ambos márgenes, por encima de la cual, la abrasión es dinámica predominante y bastante intensa. La tectónica determina la orientación del techo, ancheándose si existe meteorización en la roca.

La parte central puede sufrir un estrechamiento si coincide con una roca más resistente o si se encuentra más protegida. En esta angostura, la lámina de agua asciende sensiblemente. Se provoca un efecto *Venturi* ante la menor sección de paso, aumentando la velocidad de flujo. La dirección principal de fractura y la aparición de roturas secundarias determinan el dibujo, la orientación y el avance del techo de la oquedad.

En el sector final o interno —algunas *furnas* pueden repetir la secuencia zonal presentando así una evolución en dos o tres fases temporales diferentes—, el fondo de saco se ensancha, debido al impacto y las turbulencias finales del oleaje. En esta ampliación, el agua sale del efecto *Venturi*, nebulizándose y proyectando su energía en todas direcciones, con especial eficacia en la dirección frontal y vertical. Se realizan así socavamientos mayores en esas dos direcciones. Ello determina el crecimiento y la proyección continental de la cueva. Es necesario apuntar que la proyección hidráulica para el impacto vertical no parte desde el nivel basal de la cueva, sino a una cierta altura, merced al citado efecto físico, lo que facilita la horadación de los profundos huecos circulares que presentan algunos ejemplos de *furnas* a lo largo de toda la costa.

Por último, el extremo del fondo del saco depende formalmente de las características hidrodinámicas internas en las partes previas del corredor, pero también del buzamiento de los estratos y de la red de fracturas, muy efectivas en esta parte final.

En el caso de los túneles, la boca interna, que ejerce de sector final y desemboca en un bufadero, ocasiona un nuevo ensanchamiento, aunque de menor calibre que el de la boca de entrada marina. Como quiera que los bufaderos son oquedades colapsadas por la meteorización rocosa derivada del trabajo de las aguas continentales sobre una red de fractura multidireccional, esta boca evoluciona con un techo muy tectonizado, y ya meteorizado, que permi-

te el ensanchamiento final al que se está haciendo referencia.

Las direcciones más habituales de ataque del oleaje en el interior de la *furna* son delatadas por la distribución y calibre de las balsas inferiores. Éste es más efectivo siempre en uno de los lados de la cueva, en función de la reflexión del oleaje. Los túneles y *furnas* del área de análisis, especialmente los acodados, presentan una distribución alterna de las balsas. Esto ocurre frecuentemente donde las direcciones de fractura cruzadas dan lugar a un complicado juego de reflexiones de la lámina de agua en las paredes de los entrantes y oquedades.

Las aguas continentales

Las aguas continentales aportan un factor clave en la evolución de las *furnas* o cuevas marinas, como también en el retroceso de acantilados. Como ya se anotó, por ejemplo, la evolución de las cuevas y túneles hacia bufaderos depende, en gran medida, del trabajo de las aguas continentales que debilitan los techos horadados por la acción marina a partir de las líneas de fractura. El régimen de precipitaciones, la canalización natural de esas aguas y su retención en fisuras y marmitas en los acantilados que techan cuevas y túneles es variable indispensable para conocer la evolución de las cuevas y, por lo tanto, de la distribución de los seres vivos en las mismas.

La cantidad de luz

La cantidad de luz es también fundamental en la definición de este tipo de hábitat, quizá el factor más original, el diferenciador con respecto a otros próximos. La sola aparición de resaltes, extraplomos, viseras o corredores estrechos trae en consecuencia la disminución drástica de las horas de luz, afectando así a los tipos vegetales y animales. La configuración de cuevas verdaderas, túneles y pasadizos, intensifica esta situación llevando al hábitat a una penumbra u oscuridad marcada y duradera. Es entonces cuando se desarrollan las comunidades vivas más diferenciadas. Pueden llegar a aparecer así ambientes de troglófilos y troglóbios en un medio original en el que se incluye la influencia marina.

Centrándonos en el condicionante lumínico, las cuevas tienen un ambiente biogeográfico específico

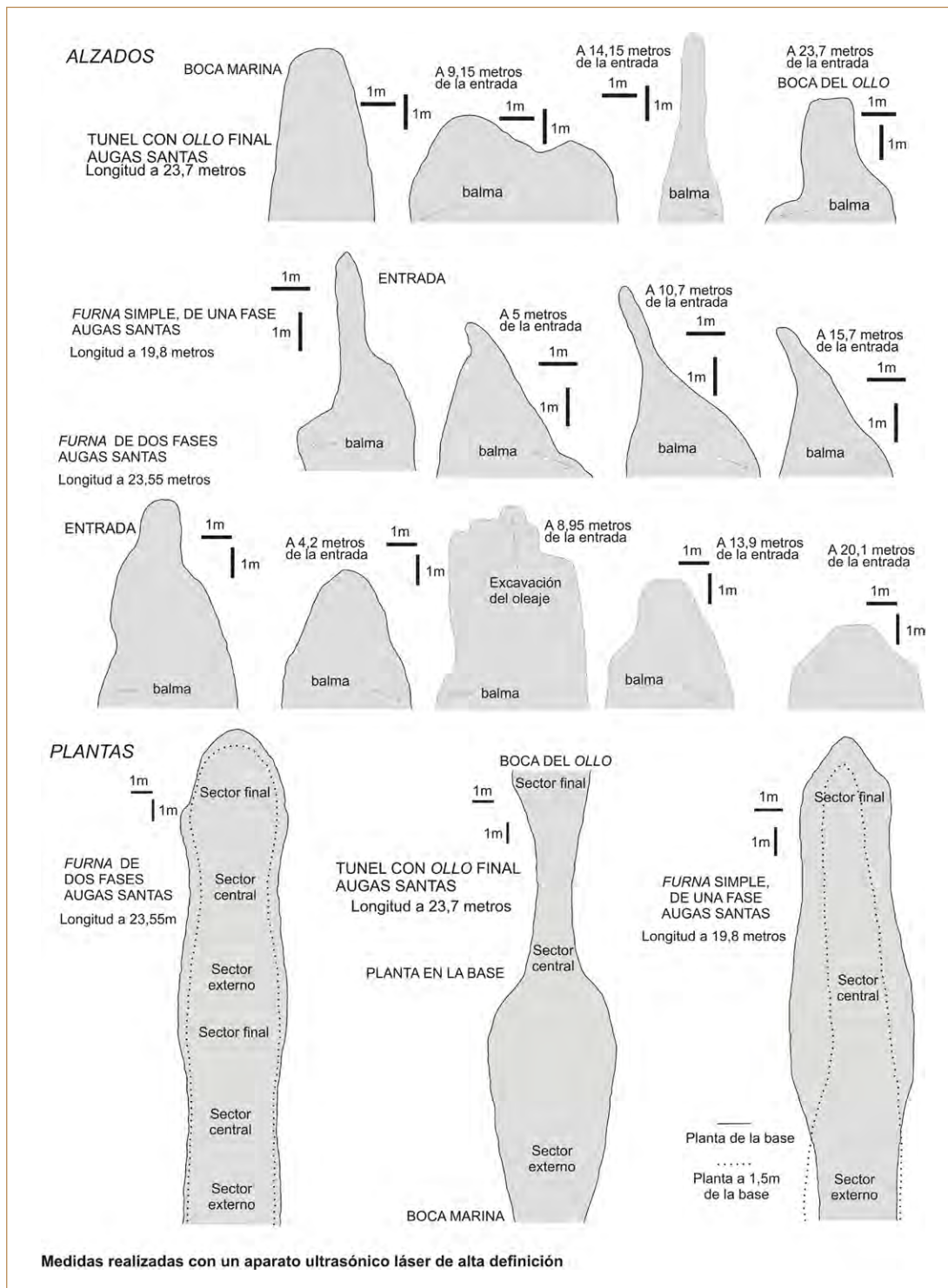


Figura 2.7

Diferentes cuevas costeras cartografiadas en planta y perfil que permite observar la explicación de sectores que se acaba de anotar.

Realizado en trabajo de campo para la costa de Ribadeo y proceden de casos reales.

Extraído del trabajo: López Bedoya & Pérez Alberti, 2007, *La costa de Ribadeo*. Plancha fuera de texto. En: Pérez Alberti, et al.: *Itinerarios geomorfológicos por Galicia* (GIXA – USC).

y original, poblado por seres vivos cavernícolas, troglobios y troglófilos. Galán & Herrera, 1988, dividen el ambiente cavernícola en dos regiones y cuatro zonas distintas: una región A, que comprende ambientes subsuperficiales y transicionales, y consta de dos partes, una de “entrada superficial y penumbra” y otra de “transición”; y una región B, que comprende el ambiente subterráneo propiamente dicho, que contiene, a su vez, una zona “ventilada” y otra zona “profunda con aire en calma”.

■ Región A:

Zona de “*entrada subsuperficial y penumbra*”: la parte de la entrada subsuperficial recibe a menudo luz durante el día, existiendo plantas verdes y rellenos de materiales orgánicos procedentes del exterior. En el sector de penumbra se muestra una degradación en los parámetros físicos, acompañada de una gradación vegetal acorde, pasándose de la vegetación de plantas vasculares ombrófilas a las criptógamas y, finalmente, películas de algas. La fauna incluye muchos troglógenos regulares, tanto en las paredes —asociación parietal de las cuevas europeas— como entre los bloques y rellenos orgánicos del suelo, predominando en éstos las formas endógenas. También se esconden en esta zona muchos invertebrados epígeos e higrófilos que buscan refugio y humedad.

En esta región queda incluida una gran cantidad de cuevas costeras, sobre todo las de los ambientes metamórficos y silíceos, así como las viseras costeras, los arcos rocosos, los bufaderos y otras geoformas de evolución de las cuevas, como los entrantes costeros estrechos y en garganta.

Zona “*transicional*”: se encuentra en oscuridad total, no existen plantas verdes y sí fuertes variaciones climáticas, siendo muy dinámica, con límites ambiguos y variaciones de humedad diarias y estacionales en función de las propias variaciones de temperatura y del intercambio de aire con el exterior. Dominan los seres troglógenos, que, según su desarrollo y biología, pueden adquirir más o menos independencia de los factores físicos. Por ejemplo, muchos troglógenos regulares, como dípteros, araneidos y quirópteros, pueden instalarse en las profundidades de las cuevas y cumplir allí parte de su ciclo vital.

■ Región B:

Se trata de una zona en total oscuridad y humedad relativa muy próxima a los valores de saturación, no existiendo prácticamente cambios climáticos. Es el hábitat subterráneo propiamente dicho.

Zona oscura ventilada: dominan los troglófilos, mientras que los cavernícolas estrictos o troglobios entran eventualmente en ella si las condiciones de humedad son las adecuadas.

Zona oscura de aire en calma: es, con las mesocavernas y espacios menores contiguos a éstas, el lugar de hábitat de los troglobios. Los troglófilos aparecen sólo de manera accidental o transitoria, pues no están adaptados para mantenerse en esta zona de manera indefinida. Este área comprende huecos en muy distintas posiciones topográficas, incluso en la proximidad de la entrada y sector de penumbra.

El ambiente atmosférico de las cuevas

Aunque las cuevas costeras están fuertemente influenciadas por el clima costero, que acompaña el ambiente atmosférico con parámetros inexistentes en las cuevas continentales, como una alta salinidad, en las cuevas costeras profundas semisumergidas y emergidas, sobre todo las existentes en litologías calizas y volcánicas y que disponen de varias cámaras, a veces desconectadas del mar pero con aguas salobres, anquihalinas, pueden desarrollarse las características atmosféricas propias de las grandes cavidades continentales. Se anotan, a continuación, los rasgos generales de la atmósfera cavernícola:

Las características básicas definidoras del ambiente atmosférico, microclima, existente en las cavernas, siguen las anotaciones de Galán y Herrera, en 1998. La atmósfera subterránea mantiene unas condiciones climáticas relativamente constantes, pero puede existir una marcada variabilidad en los parámetros meteorológicos, según se trate de zonas bien ventiladas, con constante renovación de aire, o confinadas, con un régimen de aire estancado. En la atmósfera subterránea, las diferencias de temperatura pueden alcanzar los 5-6°C y las de humedad relativa el 30%, aunque son muy inferiores en áreas confinadas, profundas o de reducidas dimensiones. En estos casos,

el régimen es prácticamente isotermo y equivalente a la temperatura media anual de la comarca en la que se localiza la cueva; la humedad relativa es del 100% y suceden habitualmente casos de sobresaturación y condensación. Esta situación puede ser modificada por las variaciones en la temperatura del agua, frecuentemente con valores inferiores en 1°C o 2°C a la del aire. Otro factor fundamental es el de la concentración de dióxido de carbono [CO₂], ya que incluso esta concentración condiciona los procesos de formación de geoformas kársticas. En las cuevas, la concentración de este gas aumenta a medida que se incrementa la profundidad, siendo mayor que en las galerías y cavidades ventiladas, puesto que el intercambio de aire es mucho menor. La concentración puede entonces alcanzar un 10% del volumen gaseoso, o incluso superarlo. Este aumento es resultado directo de la disolución de la roca calcárea por las aguas de infiltración.

El tamaño de las cuevas

Como ya se ha anotado en apartados anteriores, el tamaño y la configuración de las cavidades condiciona la aparición de unos u otros seres vivos y su distribución. Del tamaño y configuración de la cueva dependen la cantidad de luz, la abundancia/dominancia de unos gases u otros, la disponibilidad de agua, etc., factores abióticos que terminan por limitar o permitir la vida en las cuevas. En este sentido, es interesante la clasificación de cuevas volcánicas realizada por Howarth en 1983, y presentada ya en el apartado "Cuevas originadas en rocas volcánicas" de esta ficha. Howarth distinguió tres clases de tamaños significativos de cara a la habitabilidad de las cuevas: las macrocavernas, mayores de 20 cm, las mesocavernas, de 0,1 cm a 20 cm, y las microcavernas, con dimensiones menores a 0,1 cm. Biológicamente, la primera admitiría a grandes vertebrados, la segunda se caracterizaría por un clima favorable a los artrópodos cavernícolas, mientras que la tercera es demasiado pequeña para la mayoría de los artrópodos cavernícolas.

Factores y procesos antrópicos que afectan a las formas y a la cobertura biológica de las cuevas costeras

La ocupación de las costas, en general, se ha convertido en el peor enemigo de las cuevas costeras. Aun-

que, partiendo de la base, como ocurre con los acantilados, de que son formas cuya evolución natural les lleva a la destrucción, y que esa destrucción da paso a la nueva confección de cuevas en el mismo sector costero, es necesario desarrollar un poco el tema de los colapsos inducidos en grutas litorales o la destrucción acelerada de las mismas por el desarrollo de actividades por parte del ser humano.

A continuación, se relacionan algunas de las actividades que generan desequilibrios en los acantilados y, por ende, en las cuevas costeras:

- La contaminación por hidrocarburos y otros residuos sólidos o líquidos se puede convertir en un serio problema para los seres vivos que habitan las cuevas y sus aledaños. Las cuevas profundas, a pesar de encontrarse en áreas muy expuestas y dinámicas, constituyen trampas sedimentarias en las que se acumula todo aquello que es transportado y finalmente extraído de las derivas y corrientes litorales. En no pocos casos, se pueden datar apariciones de cuerpos sin vida de animales, acumulaciones de detritos inorgánicos y volúmenes elevados de hidrocarburos en cuevas. Las acumulaciones, en el fondo de saco de las mismas, de depósitos arenosos o cantos ya indica que se trata de trampas sedimentarias bastante efectivas. En algunos casos, la existencia de algún bufadero activo en el techo de estas cuevas, con dimensiones efectivas, ha actuado a modo de sifón, ayudando a proyectar residuos sobre el acantilado. Así, el tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas se ve notablemente condicionado por la contaminación marina.
- Las consecuencias de cambios forzados en la hidrología costera continental, una de las causas más habituales del asentamiento masivo humano en las costas, también llevan parejo un riesgo de degradación para las geoformas que aquí se tratan. El desvío de los drenajes naturales y su concentración a la hora de ser proyectados al mar puede reforzar las presiones hidráulicas en algunas fracturas clave en la evolución de las cavidades. Esta acción negativa puede darse de manera superficial, con emisarios cerrados o cauces naturales forzados por la concentración previa artificial de pluviales que vierten sobre el acantilado desmoronando el techo de las cuevas, o bien subterráneamente por el enterramiento de emisarios de aguas fecales o de vertidos indus-

triales. En este último caso, el ensanchamiento de grietas lleva a la caída de bloques y al posterior colapso de partes del techo de la cueva.

- Las instalaciones industriales próximas al mar traen en consecuencia numerosos problemas. A los de contaminación, concentración de pluviales y emisarios, se unen otros igualmente dañinos, como el desmonte de vertientes costeras o el horadado de los propios acantilados. Una de las actividades de tipo industrial que han aumentado su presencia en la costa, y que llevan consigo el desmoronamiento físico parcial o total de frentes acantilados con sus respectivas cuevas, son las piscifactorías. En ellas, las tomas de aguas limpias, los emisarios de aguas derivadas de la alimentación de peces, las redes de transporte subterráneo del elemento hídrico, la construcción de tanques o piscinas o la colocación de los cimientos de las propias edificaciones han significado la erosión física de acantilados y el consecuente riesgo de evolución de las cuevas de los tramos costeros en los se implantan estas infraestructuras.
- Los usos turísticos son también un problema en muchos trechos de costa acantilada, pero especialmente en aquéllos cuya monumentalidad los ha convertido en atractivos puntos de llegada masiva de visitantes. Un ejemplo de que los turistas están degradando las cuevas, arcos, túneles costeros y bufaderos es el de Ribadeo, en la costa lucense peninsular. Allí, los efectos de los visitantes se muestran en varias tipologías:
 - El pisado o frecuentado de los techos de estas geoformas, fomentando el riesgo de desplome por medio de vibraciones, erosiones físicas y presiones sobre los techos de las cuevas.
 - El tramo costero está fosilizado, parcialmente, por sedimentos arenosos, que contribuyen a proteger parcialmente los acantilados de la acción del oleaje. La extracción, involuntaria unas veces y voluntaria otras, de arena facilita la acción erosiva del mar y una aceleración en el retroceso de la costa rocosa.
 - La entrada de numerosos visitantes en las cuevas está destruyendo el hábitat natural, mediante arranque, pisado o molestias sonoras sobre las comunidades vivas, reduciendo la biodiversidad del hábitat en estos espacios.

Por último, no debe olvidarse la importancia que tienen, en la composición vegetal y animal, las especies bioinvasoras. Ya se ha apuntado para los

acantilados atlánticos la importancia de este problema en la degradación de las comunidades vivas autóctonas; por ello redireccionamos a esa ficha la lectura de algunos de los fenómenos más repetidos en este problema inducido por el ser humano. Además de las consecuencias relacionadas con la imposición de nuevas especies y la sustitución y degradación genética de las autóctonas, es necesario apuntar la idea de que los nuevos taxones introducidos pueden, por un lado, aumentar la acción bioclástica en grietas directamente conectadas con el sistema tectónico de la cueva y, por otro, que la sustitución de especies autóctonas puede llevar parejo un problema de desprotección del acantilado, favoreciendo una aceleración de los frentes costeros.

La interrelación de factores y procesos y la ocupación biológica de los acantilados y las cuevas

- En materiales silíceos, metamórficos e ígneos

En la flora

Según Sanmartín & Lago, 1998, la composición química de la roca no influye de manera decisiva en la distribución de las plantas en las áreas dominadas por rocas metamórficas e ígneas. Sin embargo, se observa cómo el grado de meteorización y fracturación de las rocas sí que tiene importancia, ofreciendo las rocas con mayor grado de alteración una mayor variedad de plantas que las rocas sin alterar. De ello participan las cuevas y sus diferentes tipologías. La inestabilidad, la irregularidad de la cueva, el estado de meteorización y la disponibilidad de nutrientes, y el grado de apertura de la cavidad —y por ello de la cantidad de luz— influyen notablemente en la distribución y abundancia de seres vivos en el interior. También el régimen de oleaje y el alcance mareal condiciona la zonación de seres vivos en el interior de la oquedad.

Con todo, el diferente doblamiento entre grandes dominios litológicos es patente. La litología deberá ser tenida en cuenta, pues, por una banda, crea edafismos y especies endémicas asociadas. Por ejemplo, los acantilados y las cuevas calizas y aquellos modelados en materiales volcánicos cuentan con comunidades diferenciadas a las grutas en dominio granítico y metamórfico, aunque puedan existir especies comunes. Por otro lado, la evolución e inestabilidad

de los acantilados y las cuevas que en ellos se desarrollan serán también diferenciadas, por lo que la colonización vegetal y animal se verá condicionada de manera distinta.

Está claro que las zonas con más poblamiento son aquellas existentes en los márgenes exteriores de las cuevas y en las grietas de comunicación con el exterior continental. Así, no es lo mismo estar hablando de cuevas, en sentido estricto, que de bufaderos, arcos o túneles de dos bocas. En los bufaderos y arcos rocosos, la evolución de los mismos, su erosión, permite el establecimiento de comunidades vegetales más ricas que responden ya a la típica secuencia de los acantilados rocosos. En este caso, se repite un poco la secuencia propia de los acantilados.

En los acantilados metamórficos y graníticos, por ejemplo, las primeras plantas capaces de colonizar los acantilados desnudos son los líquenes que son capaces de soportar las fuertes oscilaciones de temperatura que se suelen dar cuando, después de una larga exposición al sol, reciben el impacto de las gotas de agua frías lanzadas por el oleaje. Este fenómeno provoca una evaporación rápida del agua, lo que favorece el aumento de los niveles de la salinidad en la superficie de la roca cuando no, después de momentos de temporal, de acumulaciones de sal en las hondonadas. La presencia de líquenes es importante como indicador del grado de contaminación, tanto atmosférica como marina, porque, pese a vivir en ambientes difíciles, no soportan la acción de ciertos contaminantes.

En los acantilados rocosos o encima de los *coidos* inactivos, que se emplazan por encima del nivel de las mareas, son abundantes los líquenes como: *Ramalina siliquosa*, *Xanthoria parietina*, *Verrucaria maura*, *Lichina pygmaea*, *Lacanora atra* o *Caloplaca marina*.

Otro hecho destacable es que la formación de placas líquénicas en las rocas sirve para preparar estos ambientes para el crecimiento de las plantas pioneras como los *briofitos* que, a su vez, junto con los materiales de descomposición de la roca, crean pequeñas acumulaciones de sedimentos que quedan retenidos en concavidades o en las hendiduras abiertas a partir de la alteración diferencial siguiendo líneas de fractura. Estos microsuelos, o suelos embrionarios, son aprovechados por las plantas *Casmofíticas* de mayor porte.

A lo largo de su evolución, las plantas *casmofíticas* o *fisurícolas* sufrieron importantes modificaciones en su aparato vegetativo en la lucha por la búsqueda de agua, que es el factor más limitante junto con la presencia de sal.

El agua de la lluvia percola por las líneas de fractura o discurre por la superficie, siendo muy pequeña la cantidad retenida. Este hecho da lugar a un ambiente difícil para las plantas, apareciendo algunas *lapídícolas* que sólo crecen sobre las rocas.

Sin embargo, la mayor parte de la flora que existe en los acantilados y, por extensión, en las geoformas evolucionadas de las cuevas son, según Sanmartín & Lago, 1998, *aerohalofitas* y *halofitas* terrestres, ya que la sal es un elemento de primer orden que influye notablemente en estos tipos de hábitat. Las primeras se humedecen por el *spray* marino y las segundas son *casmofitas* que viven en las hendiduras rellenas por materia orgánica traída por el viento o procedente del mar. En este caso, muchas especies son las mismas que crecen en las praderías salinas. En otros lugares hay especies que, a pesar de crecer en un ambiente rico en arena o nitrófilo, aparecen abundantemente en los acantilados. Esto se puede explicar porque los fuertes vientos pueden arrastrar arena hasta ellos, favoreciendo el crecimiento de *psamofitos*. Por otra parte, la presencia de un gran número de aves marinas y sus excrementos favorece la existencia de un alto nivel de especies nitrófilas, sobre todo de pequeño porte, capaces de resistir los fuertes vientos de las costas atlánticas.

La distribución, pues, de las diferentes especies en los acantilados y la margen exterior de la serie evolutiva de las cuevas viene determinada por su altura sobre el nivel del mar, por el grado de alteración de la roca o por su exposición a los vientos, así como por el grado de movilidad del terreno. Entre las fanerógamas, destaca el *Crithmun maritimum*, al que se le asocia frecuentemente la *Armeria pubigera*. Ambas especies ocupan una amplia franja, que va desde la orilla del mar hasta la parte alta de los acantilados, poblando también las fracturas abiertas en las cuevas.

En los bufaderos más abiertos y evolucionados, como los existentes en la costa de Ribadeo o algunos de las islas de la costa gallega pontevedresa, puede aparecer una vegetación propia de lugares más alejados del mar, aumentando la diversidad de

especies. Estas paredes rocosas están bastante desconectadas del mar, ya que el agua del mar aparece sólo en marea alta en la base del pozo y los oleajes llegan muy atenuados, siendo muy limitado el spray marino por la protección del frente acantilado más avanzado. Aparecen así, en el dominio silíceo atlántico, plantas como *Silene uniflora* subsp. *uniflora*, *Spercularia rupicola*, *Angelica pachycarpa*, *Lobularia maritima*, *Cochlearia danica*, *Centaureium maritimum*, *Plantago coronopus*, *Bellis sylvestris* y *Leucantherium merinoi*, *Armeria pubigera*, etc. Además, la existencia de una umbrofilia elevada por la falta de luz y la acumulación de aguas continentales en las paredes, procedentes de grietas, favorece la aparición de helechos y plantas ombrófilas. Es muy habitual, por ejemplo, en los bufaderos del noroeste de la península, la aparición del helecho real, *Osmunda regalis*, o del *Asplenium marinum*.

En la fauna

Bournérias, Pomerol & Turquier, 1999, aportan algunas anotaciones sobre la relación entre factores, procesos y la ocupación biológica:

A nivel general, un factor repetido como fundamental en los tipos de hábitat costeros y que influye bastante en la distribución de los seres vivos en costas rocosas, son las mareas. En efecto, las mareas son el origen de la zonificación del poblamiento en los litorales:

Por encima del nivel de las mareas vivas llenas, con un tiempo de emersión del 90%, la vida marina se mantiene muy difícilmente, mientras que la terrestre no se puede aún instalar, salvo algunas especies de líquenes. La ausencia de vegetación impide la formación de suelo. Esta franja está, por lo tanto, pobremente poblada o, si se quiere, prácticamente desnuda.

El nivel mesolitoral se desarrolla entre los niveles de bajamar y pleamar vivos, en una superficie regularmente sumergida. Está poblado por organismos muy resistentes a la emersión, pero para los, que al mismo tiempo, es indispensable el retorno regular de la lámina hídrica marina. Está directamente alcanzado por el oleaje y se encuentra sujeto a grande, fluctuaciones en las condiciones de vida.

El estadio, franja o nivel infralitoral, aparece por debajo del nivel de marea baja viva, emergiendo de tiempo en tiempo la parte superior del mismo. Las comunidades vivas se extienden hasta los 25 m o 50 m de profundidad. Aún está influenciado por las agitaciones marinas, pero conoce una estabilidad ecológica progresiva a medida que aumenta la profundidad. La disminución rápida de la luminosidad con la profundidad limita pronto el desarrollo de la cobertura vegetal. A partir de éste comienza la zona circalitoral, sombría y fría.

En las costas rocosas, a nivel faunístico, los seres vivos padecen directamente las variaciones de los factores físicos, puesto que rara vez se benefician de alguna protección particular. Para la fauna litoral, muy adaptada a la vida acuática, la colonización de la roca se resume en una competición dentro del arte de resistir la emersión. Incluso aquellas especies que se encierran en recipientes herméticos, como los bivalvos, se someten al riesgo de la asfixia si la emersión se prolonga. Otras especies, que poseen branquias, como gasterópodos y cangrejos, deben adaptar su respiración a dos modos bien distintos de funcionamiento: el aéreo y el acuático. Los organismos menos adaptados a sufrir esa sequedad, como los peces, las esponjas y los cnidarios, no son capaces de sobrevivir en el intermareal salvo en condiciones biológicas favorables, como salpicaduras permanentes, fisuras abrigadas, bajo piedras, con coberturas vegetales elevadas, etc. Estos biotopos húmedos y oscuros constituyen verdaderos enclaves ecológicos que permiten el ascenso a horizontes superiores de especies poco adaptadas a la desecación, como las anémonas marinas, las esponjas o los propios peces. En este sentido, las cuevas, túneles y corredores que constituyen el tipo de hábitat 8330, son lugares ecológicamente interesantes, suponiendo un avance continental de las especies menos adaptadas al intermareal, debido al ambiente cargado de una humedad elevada y al alcance de las salpicaduras y la lámina de agua superior a áreas colocadas en una posición intermareal similar pero en geoformas abiertas.

Además de estas zonaciones anteriores, vegetales y animales, presentadas especialmente para territorios silíceos metamórficos e ígneos, es necesario realizar algunos apuntes sobre la cobertura biológica en materiales calizos y volcánicos.

■ Sobre materiales calizos

Los terrenos de naturaleza kárstica son propicios para el desarrollo de cuevas, fundamentalmente por la erosión provocada por las precipitaciones atmosféricas. Las costas calizas se encuentran horadadas por numerosas cavidades, de muy diferentes tamaños y profundidades, en donde la distribución de seres vivos está también fundamentalmente determinada por la cantidad de luz, además del alcance marino. Uno de los mayores aportes de las litologías kársticas al mundo de las cuevas costeras es la existencia de numerosas cuevas sumergidas activas y anquihalinas de gran tamaño, en las que se pueden observar zonaciones en función de la cantidad de luz.

Cuevas sumergidas o semisumergidas en contacto directo con el mar

Para caracterizar estas cuevas, desde el punto de vista biogeográfico, se utilizará el estudio de Úriz *et al.*, 1993, sobre cuevas sumergidas en la isla de Cabrera.

En este trabajo, se hace hincapié en que la distribución de las diferentes comunidades depende de la topografía de cada cueva, que es capaz de determinar las características físico-químicas de la misma, sobre todo la cantidad de luz y la circulación de agua. Esta circulación es también muy importante para entender la distribución de los materiales sedimentarios en las cavidades. La salinidad es otro factor que suele variar y condicionar la distribución de los seres vivos en las cuevas calizas.

Estos autores anotan, basándose en Pérès & Picard, 1964 y Riedl, 1966, que, a medida que nos distanciamos de la entrada, hacia el interior, aumenta el dominio de los animales frente a los vegetales, predominan las formas suspensívoras y se muestran ausentes los organismos fotosintéticos. Las esponjas se presentan en diversidad y cantidad superior al resto de comunidades. Las coberturas vivas varían también desde la entrada al interior de la cueva, siendo del 100% en la primera y disminuyendo hasta el 10% en las partes más confinadas.

Se incluye en este trabajo que en la parte exterior, al existir una mayor cantidad de luz, abundan las algas calcáreas, pero al internarnos en la parte semioscu-

ra, se establecen ya comunidades más especializadas, y finalmente se llega a la zona oscura, en donde también se desarrollan comunidades muy específicas de esta falta de luz.

Se puede dividir la cueva, o cuevas, pues, en tres tipos o zonas diferentes:

- a) *La entrada:* con mayor irradiancia, pero ya claramente inferior a la existente en el exterior de la cavidad. Así, las algas fotófilas, muy abundantes en el exterior, son sustituidas por algas esciófilas. La fauna y la flora de esta zona se adaptan a lo que se conoce como biocenosis coralífera de dominio vegetal. En las partes más externas dominan las rodófitas incrustantes, además de especies del género *Peyssonelia*, junto con algunas rodófitas erectas, las clorófitas y alguna feófitas. Las esponjas ocupan los biotopos más oscuros, como microcavidades o partes protegidas por las coralíneas incrustantes, siendo más abundantes hacia el interior y los techos de la cueva. Siguen siendo muy frecuentes algunas especies fotófilas. Las áreas de bloques rocosos con sedimentos abundantes suelen tener especies incrustantes específicas. No faltan los cnidarios, que caracterizan esta zona también, apareciendo igualmente madreporarios e hidrarios. Son muy abundantes los briozoos de pequeña talla y los equinodermos se distribuyen en tres grupos: los habituales de la zona infralitoral, los de amplia distribución litoral, y los de claro carácter esciófilo. Además de los equinodermos y algunos decápodos ocasionales, la fauna vágil se ve también compuesta por pequeños cardúmenes y especies de góbidos y escorpénidos.
- b) *Cuevas semioscuras:* en esta comunidad viven especies cuyo ambiente recibe menos del 0,05% de la luz existente en la superficie. Casi no existen los organismos fotosintéticos y se caracteriza por un cubrimiento animal superior al 10%, el dominio de esponjas y briozoos en las paredes y madreporarios y esponjas en los techos. Abundan las esponjas masivas y las formas erectas de poco alzado de diferentes grupos taxonómicos. En el suelo de la cueva es común, también, la cobertura con esponjas. En el techo, junto a las esponjas masivas, abundan los madreporarios. El número de tunicados, de crustáceos decápodos y de componentes de la fauna vágil, en general, es bajo.

c) *Cuevas oscuras*: existe un empobrecimiento en la cantidad de individuos y la diversidad de especies. El paso de cuevas semioscuras a oscuras se da por el confinamiento del medio, asociado a bajas renovaciones hídricas, correlacionado con irradiancias inferiores al 0,001% con respecto a la superficie (Harmelin *et al.*, 1985 en Úriz, 1993). Existe una disminución drástica del doblamiento animal, con coberturas siempre inferiores al 50%, y disminuyendo hacia el interior. Es rara la estratificación animal, las formas masivas son poco frecuentes y los organismos incrustantes muy primarios. Las esponjas de medios semioscuros desaparecen y aparecen otras pocas muy especializadas en este medio. En las paredes se desarrollan formas incrustantes de aspecto traslúcido. En la base de la cueva, la falta de hidrodinamismo permite el desarrollo de formas erectas. Los cnidarios son más pequeños, menos diversos y menos densos. Tampoco los briozoos son ya tan abundantes, aunque algunas especies, por falta de competitividad, aumentan su índice de dominancia. Menos aún abundan los tunicados y los crustáceos, muy escasos. Algunos briozoos y tunicados incrustantes, junto con algunos serpúlidos de algunas especies de esponjas, son los únicos habitantes sésiles.

Cuevas sumergidas o semisumergidas anquihalinas

Son las cavidades costeras con aguas salobres o marinas que no presentan conexión directa con el mar abierto. Sólo pueden recibir agua de mar por infiltración a través de la roca. En caso contrario, se trataría de cuevas submarinas ordinarias o cuevas litorales.

Se trata de tipos de hábitat oscuros, sin posibilidad de que los seres vivos que en ellos habitan puedan realizar la fotosíntesis. Aparecen así seres tan raros y extraordinarios como los procariotas quimiolitotróficos, que reducen el carbono inorgánico utilizando compuestos como sulfuros o amonio como donantes de electrones.

Se dan cuevas de este tipo en el litoral balear, el canario y el peninsular de Levante.

Las características ambientales de estas cuevas son muy diferentes a las de otros tipos, pues ocurre una estabilidad ambiental elevada, una oscuridad permanente y una oligotrofia, lo que acerca a estos ambientes a los de los fondos oceánicos (Picornell, 2004). La influencia marina se manifiesta en la composición iónica mayoritaria del agua, con preponderancia de cloruro y de sodio, y también en las oscilaciones de la masa de agua de las cavidades, de acuerdo con las oscilaciones en mar abierto, aunque más amortiguadas. Por lo tanto, la ausencia de viento y de hidrodinamismo conducen al establecimiento de una columna de agua permanentemente estratificada. Es decir, en la parte superior, donde la influencia de las aportaciones de agua dulce es más fuerte, se formará una masa de agua más salobre. Por debajo se sitúa una masa de agua más densa. Ambas están separadas por la llamada haloclina (Picornell, 2004). Las aguas más profundas presentan una temperatura superior a la de las masas superficiales y muy superior a la del mar abierto. Las especies que viven en este agua son, por tanto, termófilas. En cuanto al aporte de materia, se presentan hasta tres fuentes distintas: materia orgánica que procede de los suelos del exterior y que se filtra, restos de algas fotosintéticas, si la cueva posee entradas bien iluminadas, y una población bacteriana quimiolitotrófica. En ocasiones, la degradación bacteriana de detritus en las capas más inferiores puede dar lugar a situaciones de anoxia, además de a la producción de compuestos altamente tóxicos. La fauna que habita estas cuevas está altamente especializada para afrontar tales retos (Picornell, 2004).

Una característica común de la fauna es el elevado número de endemismos que se registran en estos ambientes. En la mayoría de los casos, una especie vive sólo en un sistema de cuevas o en una sola cueva. La estabilidad de estos ambientes favorece los procesos de especiación, pero la causa principal quizá es el aislamiento de las poblaciones trogloditas, situadas en un margen térmico vital muy estrecho. Otra característica todavía más sorprendente de los ambientes anquihalinos es que presentan especies o géneros vicariantes, es decir taxones que tienen un ascendente común y que en la actualidad ocupan los mismos nichos ecológicos pero en lugares diferentes, y, en este caso, en cuevas alejadas unas de otras por miles y miles de kilómetros, separadas por barreras infranqueables (océanos, continentes) (Picornell, 2004).

La explicación a esta distribución tan disjunta de taxones filogenéticamente tan emparentados se encuentra en la llamada vicarianza por deriva continental: los continentes se desplazan, han cambiado de forma y composición a lo largo de la historia del planeta; se pueden considerar, en realidad, como grandes islas flotantes y en su deriva arrastran la flora y la fauna. Expresado de otra manera, la vicarianza es un proceso mediante el cual una especie queda dividida en subpoblaciones aisladas. Se pone en funcionamiento un proceso de especiación entre taxones muy semejantes que nunca jamás coexistirán en un mismo territorio.

■ Sobre materiales volcánicos

Centrándonos en el caso concreto de las cuevas en territorios volcánicos, se puede incluir alguna descripción en las grutas costeras canarias. Fernández-Palacios & Esquivel, 2001, p.163, aportan, para paredes, cuevas y grietas, que en estos ambientes con la luz atenuada, muy frecuentes en Canarias, desde la orilla presentan un poblamiento dominado por invertebrados filtradores y suspensívoros (esponjas, corales, antipatarios, ascidias etc.), a veces muy espectacular en las paredes cubiertas de zoantídeos (*Gerardia*), gorgonias (*Paramuriacea*) y corales negros (*Antipathes*) por debajo de los 30 m. Un depredador especial de estos ambientes es la anémona gigante (*Telmatactis*). Aquí aparece también uno de los peces más particulares de Canarias, el góbido de cuerpo aplanado de las fisuras y grietas (*Didogobius*). Asociados a las paredes o veriles se encuentran importantes poblaciones de peces (*Mycteroperca*, *Epinephelus*, *Diplodus*, etc.). Por otro lado, en el medio anquialino: p. 162 (*Op.*),

cit.), anotan que el medio subterráneo costero inundado por aguas marinas (por ejemplo, Los Jameos del Aguas en Lanzarote) presenta características muy particulares y un elevado número de especies de invertebrados endémicos de Canarias (*Munidopsis*, *Speleonectes*, etc.). Se trata de un medio de muy baja producción (dependiente básicamente del flujo de las mareas), con una notable diversidad de especies y muy escaso número de componentes en las poblaciones.

Especies características y diagnósticas según aportaciones realizadas por sociedades científicas de especies

Una especie que nos ha parecido característica y diagnóstica de la salud de las cuevas menos exigentes a nivel de luminosidad ha sido *Ligia oceanica*. *Ligia oceanica* es un isópodo litoral, ligero y huidizo, preocupado por vivir en la penumbra, de hábitos nocturnos y que al atardecer sale a comer algas, su base alimenticia (Míguez Rodríguez, *et al.*, 1996). Es habitual en lugares donde se acumulan algas y restos orgánicos, siendo frecuente en cuevas, fracturas y bajo los bloques del litoral. Ha sido encontrada en muchas cuevas gallegas, en materiales diferentes y casi en total oscuridad. Es, por lo tanto, un crustáceo del supralitoral que habita cavidades semisumergidas y emergidas.

A continuación, la Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamíferos (SECEM) realiza una aportación para la zona sur de distribución en la Península Ibérica del tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas.

Orden	Especie	Abundancia	Presencia	Estacionalidad	Referencias bibliográficas
Carnívora	<i>Monachus monachus</i>	Escasa	Habitual	No	Ibáñez (1981), Blanco (1998), González (2007a)

* **Presencia:** Habitual: taxón característico, en el sentido de que suele encontrarse habitualmente en el tipo de hábitat; Diagnóstico: entendido como diferencial del tipo/subtipo de hábitat frente a otros; Exclusivo: taxón que sólo vive en ese tipo/subtipo de hábitat.

Tabla 2.1

Taxones que, según las aportaciones de la SECEM, pueden considerarse como característicos y/o diagnósticos del tipo de hábitat de interés comunitario 8330.

2.6. TAXONES ANEXOS II, IV Y V

Según la aportación realizada por la Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamí-

feros (SECEM), las especies de mamíferos incluidas en los anexos II, IV y V de la Directiva 92/43/CEE, presentes en la distribución sur peninsular del tipo de hábitat 8330, son:

Orden	Especie	Afinidad	Anexos	Referencias bibliográficas
Carnívora	<i>Monachus monachus</i>	Preferencial	Prioritaria, anexos II y IV	Ibáñez (1981), Blanco (1998), González (2007a)

* **Afinidad:** Obligatoria: taxón que se encuentra prácticamente en el 100% de sus localizaciones en el tipo de hábitat considerado; Especialista: taxón que se encuentra en más del 75% de sus localizaciones en el tipo de hábitat considerado; Preferencial: taxón que se encuentra en más del 50% de sus localizaciones en el tipo de hábitat considerado; No preferencial: taxón que se encuentra en menos del 50% de sus localizaciones en el tipo de hábitat considerado.

Tabla 2.2

Taxones incluidos en los anexos II, IV y V de la Directiva de Hábitats (92/43/CEE) que se encuentran común o localmente presentes en el tipo de hábitat 8330.



3. EVALUACIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN

3.1. DETERMINACIÓN Y SEGUIMIENTO DE LA SUPERFICIE OCUPADA

El tipo de hábitat que aquí se está tratando plantea serias dificultades a la hora de determinar el seguimiento de la superficie ocupada. Su carácter semi-sumergido o sumergido y las dificultades de acceso real a las geoformas se unen a la imposibilidad de cartografiados y seguimientos utilizando métodos de teledetección o fotointerpretación.

La determinación y seguimiento de la superficie ocupada debe conseguirse mediante la extrapolación de datos obtenidos por medición y evolución de casos concretos. Es el proceso que parece más apropiado, toda vez que resulta esperpéntico pensar en el cartografiado 3D de todas las cuevas costeras; ni siquiera en el cartografiado de las más importantes se puede resumir de la siguiente manera:

- Identificación y localización de las cuevas costeras.
- Clasificación de las mismas por forma y tamaño.

- Ensayos de cartografía tridimensional de un número determinado de cuevas de cada clase (cuando menos, de la longitud subterránea).
- Extrapolación de datos.
- Seguimiento de período largo, interanual.
- Comparación de datos evolutivos en número y volumen (o longitud subterránea).
- Extrapolación de la pérdida o ganancia de elementos o volúmenes (o longitud de pasillos subterráneos).

Parece de gran interés, también, la elaboración de una cartografía de localización y de desarrollo continental de las cavidades de mayor tamaño, de cara a la ordenación de las actividades humanas en el litoral.

3.2. IDENTIFICACIÓN Y EVALUACIÓN DE LAS ESPECIES TÍPICAS

Aportación realizada por la Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamíferos (SECEM) (sólo para la zona sur de distribución en la Península Ibérica del tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas):

Orden	Familia	Especie	Criterio*	CATEGORÍA AMENAZA		
				UICN Mundial	UICN España	CNEA**
Carnívora	Phocidae	<i>Monachus monachus</i>	3	En Peligro Crítico de extinción	En Peligro Crítico de Extinción	En Peligro de Extinción

* **Criterio:** 1: taxón en el que se funda la identificación del tipo de hábitat; 2: taxón inseparable del tipo de hábitat; 3: taxón presente regularmente pero no restringido a ese tipo de hábitat; 4: taxón característico de ese tipo de hábitat; 5: taxón que constituye parte integral de la estructura del tipo de hábitat; 6: especie clave con influencia significativa en la estructura y función del tipo de hábitat.

** **CNEA** = *Catálogo Nacional de Especies Amenazadas*.

Tabla 3.1

Identificación y evaluación de los taxones que, según las aportaciones de la SECEM, pueden considerarse como típicos del tipo de hábitat de interés comunitario 8330.

Área de distribución: en España existen citas de capturas y observaciones en casi toda la costa del Mediterráneo, las Islas Canarias y las Islas Chafarinas. Los dos últimos registros de reproducción en la Península se encuentran en Alicante y en Baleares. Al menos hasta 1994 se ha observado a un ejemplar, acompañado a veces de otro, y registros de reproducción en las Islas Chafarinas.

Extensión y calidad del hábitat: su hábitat incluye zonas pelágicas hasta zonas marinas costeras. Para reposar y criar utilizan playas del interior de grandes cuevas y playas abiertas protegidas por acantilados del hombre y otros posibles depredadores.

Dinámica poblaciones: no existe información precisa sobre su abundancia en el siglo pasado pero existen testimonios que indican que era localmente abundante al menos en Baleares, en el sureste peninsular y en las canarias orientales. Ha disminuido drásticamente y, en la actualidad, sólo puede observarse en las Chafarinas. Los factores que amenazan a la especie derivan del uso de artes de pesca que afectan negativamente a la especie y la contaminación del medio.

Referencias bibliográficas: González (2007a), González (2007b).

3.3. EVALUACIÓN DE LA ESTRUCTURA Y FUNCIÓN

En el caso que nos ocupa, la evaluación de la estructura y la función resulta difícil por las limitaciones de estudio que plantea el carácter sumergido o semisumergido de las geoformas objeto de análisis. La imposibilidad de fotointerpretar la localización de las cuevas, de topografiar tanto las partes emergidas como las sumergidas, e inventariar las comunidades vivas induce una gran dificultad para la evaluación de la estructura y la función de las diferentes localidades del hábitat, así como de su estado de conservación.

Los estudios sobre el funcionamiento de las cuevas se han desarrollado, sobre todo, en medio continental, basándose en las prácticas espeleológicas deportivas, a las que se asoció el interés científico. Éste acabó por convertirse en parte importante, fundándose la biospeleología y el estudio de las formaciones kársticas internas.

Lejos de realizar un estudio exhaustivo histórico sobre el inicio y evolución de los análisis científicos en medio hipogeo, cabe decir que corresponde a las cuevas españolas el nacimiento de la biospeleología como ciencia, concretamente en las cuevas del Drac (Mallorca), donde hace más de 100 años, en 1904, el naturalista rumano Emil G. Racovitza descubrió el crustáceo isópodo troglobio *Typhlocirolana moraguesi*, Picornell, 2004.

Al contrario que pasa con los acantilados y, en especial, con otros ambientes costeros como los sedimentarios próximos a las poblaciones, el tipo de hábitat de cuevas no ha importado mucho a los estudios técnicos de ingeniería puesto que, al revés que los anteriores, su conocimiento no influía en la construcción de infraestructuras portuarias o viarias alrededor de estas ciudades. Es decir, que el conocimiento de las cuevas pasó a ser el *saber por el saber*, lo que explica, en parte, la escasa evolución en el conocimiento de estas geoformas. Aún han sido menores los estudios sobre cuevas costeras y, cuando se realizaron, no fue para obtener información sobre la estructura y función de las mismas, sino para desentrañar misterios arqueológicos y biológicos, en especial los primeros, y sobre todo en la costa mediterránea.

Todo lo anotado no quiere decir que no existan estudios profundos y bibliografía suficiente para abordar el tema, pero es evidente que se trata de un tipo de hábitat que juega con desventaja por su carácter subterráneo y sumergido o parcialmente sumergido, lo que se deja notar en su aparición en trabajos geomorfológicos y biogeográficos de síntesis o en su tratamiento en los manuales generales de la ciencia geomorfológica, botánica o zoológica.

3.3.1. Factores, variables y/o índices

Existen diversos factores que permiten conocer la estructura y la función. Lo más natural es centrarse en los factores biofísicos de control, enfrentarlos y analizarlos en base a las exigencias ecológicas. Ello es lo que se propondrá en este apartado, centrándose en las variables principales. A la vez, se anotarán esas variables o factores en apartados encabezados por las mismas, sin partir de los grandes tipos de cuevas ni de sus jerarquías inferiores subtipológicas puesto que, como se ha anotado en apartados anteriores, las clasificaciones de fundamento estructural para las cuevas funcionan en diferentes litologías aunque las evo-

luciones posteriores dependan también de variables específicas de cada tipo de roca. Estructurar la información a partir de las tipologías de acantilados obligaría a repetir, en muchos casos, los textos y las variables, multiplicando informaciones similares.

Es necesario apuntar que, en el caso que aquí se trata, muchas de estas variables son intuitivas más que el resultado de estudios geomorfológicos concretos, derivan de la realización de analogías entre este ambiente y otros próximos o alejados en el árbol raíz de habitat, y se ha comprobado de manera visual la importancia de las mismas, pero no se ha podido constatar su peso concreto a partir de mediciones o modelos empíricos. Por ello, algunos apartados parecerán mostrar una cierta inconsistencia derivada de esta falta de estudios que deberá ser subsanada en el futuro.

En lo que se refiere al establecimiento de calificativos a los estados de conservación en función del estadio de estos parámetros, no siempre será posible establecer etiquetas a los diagnósticos como las recomendadas de favorable, desfavorable-inadecuado o desfavorable-malo. En otras ocasiones sí se hará, y, en el caso de situaciones en las que estos adjetivos no se adapten como es debido, se realizarán notas aclaratorias. Ya que los acantilados y las geoformas asociadas, como las cuevas, evolucionan tanto por procesos continentales como marinos e incluso humanos, no se otorgarán pesos diferenciadores a ninguna de las categorías generales de factores, es decir, alguna de estas tres. Si se tiene en cuenta que estas formas son erosivas y tienden a evolucionar hacia su destrucción, será difícil establecer como favorable o desfavorable algunos factores que, en algunos casos llevan a la destrucción de las geoformas, pero en otros facilitan la aparición de nuevos elementos susceptibles de pertenecer al hábitat. Es decir, por ejemplo, que si bien una fracturación intensa puede destruir una cueva, también la puede construir, por lo que es difícil decir que esta variable sea favorable o desfavorable, en general, en lo que se refiere a la estructura o la función de las cuevas marinas. Sí se verán como negativas las influencias humanas a nivel biogeográfico o geomorfológico, pues constituyen una ingerencia en los procesos naturales conformadores de las cuevas y de su evolución.

Dividiremos las variables que nos ayuden a establecer el estado de la estructura y la función del tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semi-sumergidas en tres grandes grupos de factores y en

16 subgrupos que contienen las 40 variables que se analizarán:

A) Factores abióticos

- A.1) Geográficos
 - A.1.1) Distribución espacial
 - A.1.2) Orientación de los frentes acantilados
 - A.1.3) Intensidad lumínica
- A.2) Morfología intrínseca
 - A.2.1) Tipo de cueva
 - A.2.2) Dinámica y etapa de desarrollo de la cavidad
 - A.2.3) Profundidad de la cueva
- A.3) Morfología de geoformas continentales
 - A.3.1) Tipo de acantilado
 - A.3.2) Dinámica de los acantilados
- A.4) Litología
 - A.4.1) Tipo de roca
 - A.4.2) Estado de meteorización del sustrato
 - A.4.3) Potencial de karstificación
- A.5) Estructura
 - A.5.1) Patrón de fractura
 - A.5.2) Historia geológica del sustrato
 - A.5.3) Índice de recorte costero
- A.6) Variables marinas
 - A.6.1) Cambios relativos en el nivel del mar
 - A.6.2) Parámetro mareal
 - A.6.3) Parámetro oleaje
 - A.6.4) Parámetro salinidad
- A.7) Hidrología
 - A.7.1) Régimen hidrológico
 - A.7.2) Tipo de escorrentía

B) Factores biogeográficos

- B.1) De composición
 - B.1.1) Biodiversidad
 - B.1.2) Composición florística y de la fauna
 - B.1.3) Grado de naturalidad de la vegetación
 - B.1.4) Presencia de especies indicadoras de calidad ambiental
- B.2) De erosión
 - B.2.1) Bioclastia y bioerosión química

C) Factores de influencia humana

- C.1) Intensidad de ocupación humana del litoral
 - C.1.1) Usos del suelo
 - C.1.2) Densidad de ocupación
- C.2) Actividades industriales
 - C.2.1) Ocupación física de las vertientes acantiladas
 - C.2.2) Vertidos industriales
- C.3) Actividades residenciales
 - C.3.1) Construcciones residenciales
- C.4) Modificación de los flujos hídricos continentales
 - C.4.1) Modificación de la circulación hídrica superficial
 - C.4.2) Modificación de los acuíferos y de los flujos de agua subsuperficiales
- C.5) Actividades turísticas
 - C.5.1) Sobrefrecuentación interna de cuevas
 - C.5.2) Sobrefrecuentación de los techos de las cuevas
 - C.5.3) Construcciones
- C.6) Interferencias en los tránsitos sedimentarios litorales
 - C.6.1) Interferencias en la red fluvial
 - C.6.2) Interferencias físicas en línea de costa
- C.7) Contaminación
 - C.7.1) Polución por hidrocarburos
 - C.7.2) Sustancias químicas
 - C.7.3) Macrorresiduos en la costa

Se plantea, por lo tanto, en definitiva, una lista de control para establecer el grado de calidad o funcionalidad de los acantilados costeros en los diferentes tramos de costa que los contienen.

■ Factores abióticos (A)

Geográficos (A.1)

Distribución espacial (A.1.1)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

- *Propuesta de actuación*

Localización de las cavidades costeras con ambientes de oscuridad parcial y total a lo largo de las costas peninsulares e insulares, tanto de las cuevas propiamente dichas como de los túneles rocosos y los bufaderos.

- *Procedimiento de medición*

Una vez localizados los diferentes puntos, es necesario establecer un cartografiado de los túneles y cuevas con notable proyección continental para conocer su distribución a lo largo de los tramos costeros. Las mediciones deberán de hacerse *in situ* existiendo problemas en la utilización de gps, por lo que habrá que trabajar con orientaciones y cartografiados internos para determinar el dibujo final que desarrollan en el continente. Su plasmación cartográfica puede realizarse sobre cartografía convencional o, mejor, sobre ortofotografía, para permitir compatibilidades con sistemas de información geográfica que permitan su gestión futura.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

La superficie de referencia, muy relacionada con la distribución espacial, se presenta como una variable importante para conocer el estado de progresión o regresión del hábitat. Con los datos actuales y la escasa cartografía existente sobre cuevas costeras resulta enormemente difícil establecer unos rangos que impliquen una valoración sobre el estado de conservación.

- *Tramos de varios kilómetros, menos de 10 km, por ejemplo, en donde las cuevas son frecuentes y aparecen en un gran número de entrantes costeros, existiendo algún ejemplo de cuevas profundas y complejas (Favorable): no es posible establecer un número ya que la abundancia varía con la litología y otros muchos factores, siendo imposible establecer rangos cuantitativos.*
- *Tramos costero de varios kilómetros, menos de 10 km, por ejemplo, en los que aparecen ejemplos de cuevas, pero son poco frecuentes y no se desarrollan ejemplos de referencia (Desfavorable).*
- *Tramos costeros de varios kilómetros, menos de 10 km, por ejemplo, en los que no aparece ningún ejemplo interesante de cuevas y sólo se desarrollan tipos como viseras, entalles basales o repisas por el desplome de voladizos (Malo).*

Orientación de los frentes acantilados (A.1.2)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* recomendable.

La orientación de los frentes acantilados que contienen cuevas puede resultar en una mayor eficiencia erosiva de los oleajes. En efecto, se ha constatado la importancia de la orientación de los tramos de costa no sólo ante el factor erosivo del oleaje, sino también ante problemas como los de contaminación costera por macrorresiduos (Yoni, 1998), o hidrocarburos (López Bedoya & Pérez Alberti, 2004 y 2008). Así pues, las cuevas que en cada tramo costero estén orientadas en la dirección de los oleajes más energéticos o más frecuentes pueden sufrir evoluciones más intensas que aquéllas a las que el oleaje llega difractado, de manera indirecta.

- *Propuesta de actuación*

Correlación entre los ejes principales de entrada de cuevas costeras y las rosas de viento y oleaje existentes en los diferentes tramos de costa. Así se obtiene un índice de sensibilidad de cuevas a los oleajes costeros, lo que puede determinar su evolución futura, su durabilidad y el tipo de comunidades y de coberturas de seres vivos que habitan en ellas.

- *Procedimiento de medición*

La información ofrecida por Puertos del Estado, tanto de boyas costeras como de profundidad, debe ser fundamental, aunque en costas complejas y muy recortadas es necesario estudiar la transformación de los patrones del oleaje en las proximidades de la costa. La dirección efectiva de la entrada de las cuevas puede ser tomada mediante el uso de aparatos analógicos tradicionales como una brújula, mientras que la orientación general del tramo costero y las orientaciones parciales de los subtramos internos se deben realizar a partir de ortofotos o cartografía georreferenciada.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

En función de lo anotado, podemos establecer una clasificación de sensibilidad en cuevas que nos aportarán los diferentes niveles de “Estado de Conservación”:

- *Cuevas y subtramos de costa orientados a las direcciones más efectivas del oleaje:*

- ◆ Muy favorable/Favorable: en el caso de sustratos resistentes que evolucionan lentamente.
- ◆ Muy Desfavorable/Malo: en el caso de rocas muy alteradas o intensamente fracturadas.

- *Cuevas orientadas a las direcciones más efectivas del oleaje en subtramos costeros con otras orientaciones:*

- ◆ Favorable: en el caso de sustratos resistentes que evolucionan lentamente.
- ◆ Desfavorable: en el caso de rocas muy alteradas o intensamente fracturadas.

- *Cuevas no orientadas en las direcciones más efectivas del oleaje en subtramos costeros sí orientados en esas direcciones:*

- ◆ Favorable: en el caso de sustratos resistentes que evolucionan lentamente.
- ◆ Desfavorable: en el caso de rocas muy alteradas o intensamente fracturadas.

- *Cuevas y subtramos costeros no orientados en las direcciones más efectivas del oleaje:*

- ◆ Muy Desfavorable/Malo: en el caso de sustratos resistentes que evolucionan lentamente.
- ◆ Muy favorable/Favorable: en el caso de rocas muy alteradas o intensamente fracturadas.

Intensidad lumínica (A.1.3)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Se trata de un factor muy importante a nivel biótico. La luz y la temperatura son consideradas conjuntamente como factores energéticos (Ferrerías Chasco, en Meaza (Dir.), 2000) pues, por ejemplo, para los vegetales son fundamentales en la fotosíntesis y de ellos dependen también la floración y la fructificación. Son los determinantes primarios del crecimiento y la vida de los vegetales y rigen los caracteres fenológicos de los mismos (*Op. cit.*). Se trata de una variable muy similar al factor o variable (A.2.3). Por ello, las propuestas de actuación, el

procedimiento de medición y la Tipología de Estados de Conservación serán muy parecidos.

- *Propuesta de actuación*
Se propone el estudio de la luz en las cuevas y su influencia en otros parámetros físicos de la atmósfera epigea e hipogea.
- *Procedimiento de medición*
Parece interesante la realización de una cartografía de isocandelas de cuevas y correlacionarla con los parámetros físicos del agua y la superficie rocosa interna además del poblamiento de seres vivos. Las mediciones se podrían realizar con un luxómetro y deberían llevarse a cabo sobre los distintos tipos de cuevas y sobre grutas de diferentes profundidades.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
Según el análisis de las comunidades vivas en cuevas sumergidas en función de la irradiancia, en el archipiélago de Cabrera, que se propone en el artículo de Úriz, 1993, podríamos hablar de las siguientes situaciones:
 - *Paredes exteriores* (Malo): 100%-50% de la intensidad lumínica externa en campo abierto, aunque estos valores pueden variar en función de la orientación de las paredes rocosas y su inclinación hacia el mar, debido al ángulo de sombra que el Sol produce en las mismas. Son las paredes rocosas lisas (situación teórica) sin socavamiento ni entalles de ningún tipo.
 - *Cuevas externas* (Malo): entre el 50% y el 10%, acogiendo geoformas como balmas, viseras, entallamientos basales o partes centrales de bufaderos de gran tamaño.
 - *Cuevas epigeas* (Desfavorable): entre el 10% y el 0,05% de intensidad lumínica con respecto al exterior, sumándose a esta categoría las entradas de las cuevas, las paredes de bufaderos, y las cavidades de boca amplia y escasa profundidad.
 - *Cuevas semioscuras* (Favorable): <0,05% de intensidad lumínica con respecto al exterior, sumándose la mayor parte de las cuevas costeras y sus dependencias interiores.
 - *Cuevas oscuras* (Muy favorable): <0,001% de la intensidad lumínica con respecto al exterior. Aparece en las cuevas más profundas, túneles rocosos y galerías laterales a cuevas de profundidad media, en las cuales el rebote de la luz es mínimo.

Morfología intrínseca (A.2)

Este grupo de factores está relacionado con la forma de la cueva y su dinámica geomorfológica. Estos parámetros indican, también, la estabilidad de la geoforma y el estado de conservación del hábitat.

Tipo de cueva (A.2.1)

- *Tipo de variable*: estructural.
- *Aplicabilidad*: obligatoria.
- *Propuesta de actuación*
Interesa establecer una clasificación de cuevas de carácter universal, que comprenda diferentes situaciones litológicas y genéticas. Interesa por que la aplicación de planes de conservación y de ordenación del territorio en medio costero necesita de unos objetivos de partida que pueden venir definidos por el tipo de cueva que se desarrolla. Por ello se estima la necesidad de clasificar estas geoformas de una manera multifactorial.
- *Procedimiento de medición*
En este caso resulta necesario el desarrollo de proyectos conjuntos en ambientes diferentes, es decir, en el mediterráneo, atlántico peninsular y en la región insular canaria. Es necesario reforzar los análisis fotográficos y de cartografía del patrón de debilidades para obtener una clasificación que se fundamente en el factor estructural, puesto que aparece independientemente de los diferentes parámetros físicos que influyen en el desarrollo de las cuevas.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
Es problemático establecer cómo influyen los diferentes tipos de cuevas en el estado de conservación de las mismas. Quizá deba enfocarse en lo que se refiere a su carácter más o menos efímero o, si se quiere, a su durabilidad.
En relación a ello puede realizarse un acercamiento aproximado a esta situación:
 - *Tipos resistentes, con dimensiones notables y alto grado de oscuridad* (Favorable): se trata de cuevas con un patrón de fractura poco denso, con dimensiones notables y ambientes de oscuridad total o casi total, sin huellas evidentes de dinamismo intenso. Como ejemplos, anota-

mos los túneles rocosos de una sola boca, o las cuevas relacionadas con pliegues, o monodireccionales.

- *Tipos poco resistentes, con formas evolucionadas y cierto grado de oscuridad* (Favorable/Desfavorable): se trata de cuevas en litologías con cierto grado de meteorización, o con un patrón de fractura relativamente denso, que presentan áreas con una oscuridad elevada, pero otras con una luminosidad próxima a la del exterior. Por ejemplo, las cuevas que evolucionan a partir de una erosión diferencial, aquellas labradas en materiales esquistosos meteorizados, los túneles de dos bocas y las cavidades parcialmente dismanteladas.
- *Tipos poco resistentes o muy resistentes sin formas evolucionadas o con formas dismanteladas* (Muy Desfavorable o Malo): en áreas con rocas muy resistentes y patrones de fractura poco densos, que así contienen sólo muescas en los acantilados o cuevas muy amplias en la boca y poco profundas; o bien se trata de áreas con rocas fuertemente alteradas y que no mantienen las cuevas durante tiempo, presentando un dinamismo intenso que hace que los techos se desplomen con cierta frecuencia en retrocesos costeros elevados.

Dinámica y etapa de desarrollo de la cavidad (A.2.2)

- *Tipo de variable:* estructural/funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.
- *Propuesta de actuación*

Se trata de un factor de valoración muy similar al anterior, puesto que la dinámica está muy correlacionada con el tipo de cueva. Se propone realizar una lista de referencia de indicadores de inestabilidad o dinámica de las cuevas, relacionándolo con la morfología interna de la propia cueva. Obtendremos, así, una escala de dinámica interna de las cuevas que nos servirá para prever su durabilidad. Nos referimos a establecer una “lista de control” con parámetros indicadores de dinámica, por ejemplo, la existencia de materiales en la base poco redondeados, la aparición de grietas profundas en el techo con riesgo de desprendimiento inminente, o la aparición de arena en la base de la cueva, la desaparición de alguna cintura biológica.

- *Procedimiento de medición*

El procedimiento de medición y seguimiento de la cueva es absolutamente necesario para entender bien esta variable. La realización de la lista de control debe basarse en un trabajo de campo exhaustivo que aporte qué indicadores son importantes y cuáles accesorios. Al mismo tiempo, es necesario el cartografiado interno de las cuevas y el dibujo del patrón de fractura para calificar el dinamismo de las grutas. Es interesante el empleo de un distanciómetro y de un sistema de información geográfica o de un programa de diseño que permita elaborar modelos tridimensionales.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

Vuelve a ser difícil equiparar el estado evolutivo de una cueva con el estado de conservación de un tipo de hábitat de por sí dinámico, pero se realizará una clasificación para intentar discernir cómo influye el dinamismo de una cueva en el futuro de sus comunidades vivas:

- *Cuevas estables* (Favorable): no existen por definición, pero nos referimos a cuevas en cuya lenta evolución tiene un papel destacado la abrasión o la caída de pequeños bloques y que no presentan evidencias de dinamismo. Permiten mantener el ambiente de escasa luminosidad y, por ello, las comunidades que diferencian este hábitat de otros.
- *Cuevas con algún dinamismo reciente* (Favorable/Desfavorable): en principio es más favorable que desfavorable, pues esta situación suele dar lugar a cuevas muy profundas y complejas en las que aparece una biodiversidad especial al existir ambientes con luces y humedades muy variables. Sin embargo, puede llegar a ser desfavorable en el caso de tipos próximos a ver su techo colapsado, o cercanos a una red hipogea próxima y ya evolucionada.
- *Cuevas con alta dinámica reciente* (Malo): la extremada evolución de estos medios puede llevar a la desaparición del hábitat como ocurre en aquellos lugares en los que aparecen corredores costeros estrechos y largos o numerosas caídas de bloques en los frentes rocosos acantilados. La aparición de numerosos desprendimientos internos, de un techo muy horadado o evolucionado, etc., puede indicar un alto dinamismo y una próxima caducidad del ambiente oscuro costero.

Profundidad de la cueva (A.2.3)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

La profundidad de la cueva es uno de los factores que más importa a la especialización de los seres vivos en su interior, ya que la intensidad lumínica se verá así condicionada hasta la oscuridad total. Es una variable muy similar en las conclusiones a la A.1.3., por lo que la propuesta de actuación, el procedimiento de medición y la tipología de “Estados de Conservación” será muy similar.

- *Propuesta de actuación*
Se propone el estudio de la afección y distribución de comunidades en grutas costeras en función de la intensidad lumínica en las distintas partes de la misma, siempre poniendo en relación este factor con los genuinamente costeros, debido a la originalidad del resultado ambiental. Morfología de especies y distribución de cinturones de vegetación y fauna se convierten, así, en indicadores de esa variación lumínica y su influencia en función de la profundidad de la cueva.
- *Procedimiento de medición*
Parece interesante la realización de una cartografía de isocandelas de cuevas y correlacionarla con el poblamiento de seres vivos. Las mediciones se podrían realizar con un luxómetro y deberían llevarse a cabo sobre los distintos tipos de cuevas y sobre grutas de diferentes profundidades.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
Según el análisis de las comunidades vivas en cuevas sumergidas en función de la irradiancia, en el archipiélago de Cabrera, que se propone en el artículo de Úriz, 1993, podría hablarse de las siguientes situaciones:
 - *Paredes exteriores* (Malo): 100%-50% de la intensidad lumínica externa en campo abierto, aunque estos valores pueden variar en función de la orientación de las paredes rocosas y su inclinación hacia el mar, debido al ángulo de sombra que el Sol produce en las mismas. Son las paredes rocosas lisas (situación teórica) sin socavamiento ni entalles de ningún tipo.
 - *Cuevas externas* (Malo): entre el 50% y el 10%, acogiendo geofomas como balmas, viseras, entallamientos basales o partes centrales de bufaderos de gran tamaño.

- *Cuevas epigeas* (Desfavorable): entre el 10% y el 0,05% de intensidad lumínica con respecto al exterior, sumándose a esta categoría las entradas de las cuevas, las paredes de bufaderos, y las cavidades de boca amplia y escasa profundidad.
- *Cuevas semioscuras* (Favorable): <0,05% de intensidad lumínica con respecto al exterior, sumándose la mayor parte de las cuevas costeras y sus dependencias interiores.
- *Cuevas oscuras* (Muy favorable): <0,001% de la intensidad lumínica con respecto al exterior. Aparece en las cuevas más profundas, túneles rocosos y galerías laterales a cuevas de profundidad media, en las cuales el rebote de la luz es mínimo.

Esta valoración se hace pensando directamente en el propósito de que se desarrollen comunidades propias del ambiente hipogeo litoral o submarino oscuro y no al desarrollo de una mayor biodiversidad, que implicaría, precisamente, una valoración inversa.

Morfología de geofomas continentales (A.3)

La expresión de geofomas continentales hace referencia a la forma de los acantilados, puesto que es el grupo de hábitat que contienen el tipo de hábitat 8330 cuevas marinas sumergidas y semisumergidas. La forma y tipo de de los acantilados es una variable fundamental para entender la existencia y la forma de las cuevas costeras, así que son una variable que condiciona la evolución de este tipo de hábitat.

Tipo de acantilado (A.3.1)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* recomendable.

Existen diversas formas de clasificar los acantilados, pero no se centrará este apartado en la discusión pormenorizada para cada tipo de clasificación. Nos centraremos en la dinámica general de los mismos, puesto que la aparición de cuevas se desarrolla, en casi todos los tipos de acantilados, con mayor o menor desarrollo y su análisis pormenorizado desequilibraría el peso que en este gran apartado se le quiere otorgar a cada una de las variables.

- *Propuesta de actuación*

Valorar las frecuencias de cuevas costeras en función de los diferentes tipos de acantilado, estableciendo conclusiones acerca de la idoneidad de unos u otros para el desarrollo de diferentes tallas o tipos de cavidades y su durabilidad.

- *Procedimiento de medición*

Se trata de realizar cartografías sobre tipos de acantilados y cartografía de localización de cuevas y sus diferentes tipos para correlacionar estos dos factores. Se debe escoger un muestreo de tramos con tipos de costa distintos y representativos para poder establecer conclusiones fidedignas.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

No resulta sensato establecer tipologías de estados de conservación en función de esta variable, aunque es posible indicar la importancia de este factor con las referencias siguientes:

- *Acantilados en materiales resistentes, con retroceso lento diferencial y selectivo* (Favorable): son costas con frentes acantilados rocosos bastante estables pero que muestran un sensible recorte a base de líneas de debilidad de cierta importancia.
- *Acantilados en materiales poco resistentes, pero que evolucionan en tipo “retroceso diferencial” a partir de fracturas o contactos y de manera gradual* (Favorable/Desfavorable): habitualmente sobre materiales metamórficos que han sido sujeto de intensos fenómenos de tectonización. Existe, así, una rápida evolución en líneas de debilidad preferenciales en las que desaparecen cuevas por colapsos y se generan otras nuevas por el ataque marino.
- *Acantilados en materiales muy poco resistentes o sobre rocas resistentes muy afectadas por una densa fracturación, con un retroceso generalizado e intenso* (Muy Desfavorable/Malo): se observa en costas con extensas plataformas intermareales y acantilados traseros con muchas cicatrices de desprendimientos y deslizamientos. También se dan las cuevas propias de estos espacios en los acantilados formados por depósitos antiguos de origen frío.

Dinámica de los acantilados (A.3.2)

- *Tipo de variable:* estructural/funcional.
- *Aplicabilidad:* recomendable.

En relación con la anterior variable, se puede realizar una clasificación muy similar a la del apartado anterior, pero para ofrecer nuevas visiones se presentará una propuesta diferente.

- *Propuesta de actuación*

Se trata de relacionar la dinámica de los acantilados con la aparición y evolución de las cuevas. Se podría realizar una cartografía de cuevas en sectores acantilados diversos y, posteriormente, realizar un trabajo de fotointerpretación y cartografía de las intensidades y tipos de dinamismo de acantilado. La consecuencia es la obtención de conclusiones acerca de la idoneidad de los distintos tipos de dinámicas en acantilados para el desarrollo de cuevas.

- *Procedimiento de medición*

Se realizaría mediante el cartografiado previo de cuevas en distintos tramos acantilados, a partir de estudios de campo pormenorizados, metro a metro, en esos tramos costeros. Seguidamente, la fotointerpretación de deslizamientos y desprendimientos o caídas de bloques, distinción basada también en trabajo de campo, llevaría a la obtención de una cartografía de la dinámica costera o de riesgos de movimientos en vertientes costeras. La correlación de los datos de campo y la superposición de las capas con información georreferenciada acerca de estos dos estudios geomorfológicos permitirá concluir la importancia de la dinámica costera en la formación de cuevas.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

- *Acantilados muy inestables* (Muy Desfavorable/Malo): abundantes deslizamientos y/o desprendimientos en todo el tramo costero. Difícil desarrollo de cuevas duraderas.
- *Acantilados con inestabilidad localizada y relacionada con eventos energéticos marinos o de precipitaciones extraordinarios* (Favorable/Desfavorable). Es posible el desarrollo de cuevas pero éstas no alcanzan tallas y profundidades notables ni son duraderas.
- *Acantilados estables* (Favorable/Desfavorable): en ellos se desarrollan las cuevas más evolucionadas en las líneas de debilidad. Son duraderas, evolucionan lentamente pero perduran durante un tiempo muy largo.
- *Acantilados muy estables* (Desfavorable): el retroceso del acantilado es escaso, existiendo formas de escaso tamaño y profundidad. Son

duraderas pero no representan hábitat muy especializados.

Litología (A.4)

Tipo de roca (A.4.1)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Como se ha anotado en los factores abióticos, es interesante tener en cuenta las variaciones litológicas como una variable que explica la talla y abundancia de cuevas, pero no se debe caer en generalizaciones, como también se pudo demostrar en apartados pasados. Es cierto que las litologías kársticas, por el poder de disolución que presentan, son proclives a formar cuevas de tamaños mayores, cuevas que desarrollan amplios espacios semioscuros y oscuros, pudiendo, por filtraciones, presentar el valioso y original ambiente anquihalino, pero no desdenaremos las potencialidades que presentan también rocas de tipo ígneo y de tipo metamórfico, en las que los patrones de fractura, relacionados con la sucesión de períodos tectónicos compresivos y descompresivos dentro de diferentes orogenias, ha llevado a ofrecer numerosas líneas de debilidad aprovechadas en algunos tramos costeros de manera masiva en la formación de cuevas costeras.

- *Propuesta de actuación*
Estudio de la correlación entre el tipo de roca y existencia o ausencia de cavidades; abundancia de las mismas; tipología de esas cuevas. Puede desarrollarse, así, un área de potencial desarrollo o presencia de cuevas costeras en función de la litología de los diferentes tramos costeros.
- *Procedimiento de medición*
Cartografía de tipos rocosos, utilizando el Mapa Geológico Nacional 1:50.000 como base. Superposición de una capa con la localización de las cuevas, sus tipos y los rangos de profundidad de las mismas. Tratamiento SIG y estadístico de las correlaciones para obtener el grado de importancia de cada tipo de roca en el desarrollo y extensión del hábitat.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Litologías kársticas* (Favorable): suelen existir numerosas cuevas y de talla considerable,

aportando una diversidad de ambientes superior al de otras litologías. Aparece el ambiente anquihalino.

- *Litologías metamórficas e ígneas resistentes con un patrón de fracturas adecuado* (Favorable): aparecen numerosas cuevas, incluso, en algunos tramos, en mayor número que en litología kárstica, pero son frecuentemente de menor talla y no desarrollan tanta diversidad de ambientes en el interior de las cuevas. No aparece el ambiente anquihalino.
- *Litologías de origen volcánico* (Favorable): número y tamaño muy variable de cuevas, peor aparecen largas cavidades, de longitud kilométrica, derivadas de la interceptación marina de galerías de origen volcánico. Existe ambiente anquihalino.
- *Litologías sedimentarias de tipo arenisco y sedimentarias no consolidadas* (Desfavorable): cuevas similares a las desarrolladas en el ámbito de rocas muy meteorizadas. Amplias pero poco profundas, poco estables y duraderas. No aparece ambiente anquihalino.

Estado de meteorización del sustrato (A.4.2)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

En la clasificación de cuevas y en el apartado de los factores abióticos que influyen en el desarrollo del hábitat se comentó lo inadecuado de la aparición de rocas muy meteorizadas en la evolución de las cuevas y en el hábitat desarrollado en las mismas. En efecto, las rocas muy meteorizadas ofrecen escasa resistencia al ataque marino, ofrecen superficies muy desagregables en las que los seres vivos no pueden permanecer mucho tiempo, por lo que la densidad y diversidad de los mismos es mucho menor.

- *Propuesta de actuación*
Establecer una clasificación de cuevas en función del grado de meteorización que presenta la roca y correlacionarlo con velocidades de erosión y evolución de la cueva, y con la cobertura vegetal y animal.
- *Procedimiento de medición*
La medición de la resistencia de la roca, o dureza escleroscópica, se puede realizar con un martillo Schmidt, “Schmidt Hammer”, o con un duró-

metro. Ésta nos puede dar una idea del grado de meteorización de la roca.

La correlación entre los datos obtenidos sobre la resistencia física media de las rocas, sobre el grado de meteorización, y los tipos y talla de las cuevas, debe tratarse con programas informáticos estadísticos y tratarlos con un SIG. Ello traería, en consecuencia, una interesante cartografía de áreas con potencialidad para el desarrollo de cuevas y áreas en las que es más difícil que se desarrolle este tipo de hábitat.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Rocas sin meteorización aparente y resistencia a la abrasión muy elevada, sin líneas de debilidad atacables por los factores hídricos* (Desfavorable): no suelen permitir demasiadas alegrías para el desarrollo de cuevas, tan sólo pequeñas entalladuras o cavidades muy abiertas y con alta intensidad lumínica.
 - *Rocas con grados de meteorización bajos, pero con líneas de debilidad atacables por los agentes atmosféricos y marinos* (Favorable): son las más favorables para la formación de cavidades costeras, puesto que permiten retrocesos diferenciales con mantenimiento de los edificios de las oquedades por bajos índices de meteorización rocosa.
 - *Rocas con grados intermedios de meteorización* (Desfavorable/Favorable): existen situaciones muy diversas en las que pueden existir tramos costeros en los que se desarrollen interesante cuevas debido a la interacción positiva de otros factores, u otros en los que las cuevas no son elementos desatacados.
 - *Rocas muy meteorizadas* (Muy Desfavorable/Malo): conllevan un retroceso costero muy marcado y generalizado, configurando oquedades efímeras y de talla escasa por los frecuentes desplomes de los techos de las mismas.

Potencial de karstificación (A.4.3)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Aunque las cuevas dependen en su formación de otros factores más fundamentales, de tipo estructural, litológico o tectónico, la disolución de la caliza

tiene la propiedad de permitir que esas cuevas costeras evolucionen con una cierta independencia del factor marino y progresen con tallas extraordinarias hasta captar aparatos hipogeos continentales, además de favorecer la aparición de cámaras con ambientes anquihalinos.

- *Propuesta de actuación*
Análisis del peso de la karstificación en la formación y evolución de las cuevas litorales ante otros factores de mayor peso tradicional, como el tectónico y el estructural en general. No sólo influye en ello el tipo de roca, sino también las características físico-químicas del agua del mar, junto con el régimen de precipitaciones y las concentraciones de gases disueltos en el agua de la lluvia, deben ser los parámetros a medir para obtener información acerca de esta variable.
- *Procedimiento de medición*
Se han de medir en campo los siguientes factores que Garay & Robledo, 2008, anotan como importantes en el potencial de disolución en rocas calizas en medio continentales:
 - a) El flujo del agua.
 - b) La superficie de roca expuesta.
 - c) La temperatura.
 - d) Presión parcial de CO₂.

Además, deben analizar y medir también las características físico-químicas del agua del mar, tales como:

- a) La salinidad.
- b) La temperatura.
- c) Otras como: análisis químico del porcentaje de elementos constituyentes, gases disueltos, materia orgánica, anhídrido carbónico, CO₂, carbonato cálcico, alcalinidad del agua del mar, etc.

Se pueden utilizar sondas CTD, que se explican en el apartado de “parámetro salinidad”, además de otros aparatos de medición específicos para algunos parámetros y análisis químicos en laboratorio.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Combinación de factores que permiten altos potenciales de disolución* (Desfavorable): en rocas

calcáreas y con características físico-químicas atmosféricas, de las aguas continentales y de las marinas que permiten karstificaciones intensas.

- *Combinación de factores que permiten potenciar los medios de disolución* (Favorable): en rocas calcáreas con características físico-químicas atmosféricas, de las aguas continentales y de las marinas que no permiten karstificaciones intensas.
- *Combinación de factores que permiten potenciar los bajos o nulos de disolución* (Desfavorable): en rocas no calcáreas, o con características físico-químicas atmosféricas, de las aguas continentales y de las marinas que no permiten karstificaciones intensas.

Estructura (A.5)

La estructura es el factor fundamental que explica los tipos y el tamaño de la mayor parte de cuevas de nuestras costas. En concreto, una combinación del patrón de fractura y otros planos de debilidad, como los contactos litológicos o los planos de estratificación y el clivaje, pasa a ser el fundamento evolutivo de un gran número de cavidades costeras.

Patrón de fractura (A.5.1)

- *Tipo de variable*: estructural.
- *Aplicabilidad*: obligatoria.

El patrón de fractura depende, fundamentalmente, del historial tectónico del roquedo sobre el que desarrollan las cuevas, pero existe también otro tipo de diaclasas y fisuras que se relacionan con la evolución natural de los acantilados, de la descompresión de la roca o de las actividades humanas sobre el litoral. Se trata, por ejemplo, de las grietas de tracción, derivadas del socavamiento basal de acantilados, los procesos de humectación-deseccación, la saturación hídrica y la gravedad; o de las denominadas “fallas panameñas” (Pinot, 1999), pequeñas fallas oblicuas y cóncavas sobre materiales poco consolidados o muy meteorizados, atacados en la base y saturados hídricamente.

- *Propuesta de actuación*
Medición de los patrones de fractura, orientación, densidad y talla de las discontinuidades.

Además, se debe realizar un estudio de las variaciones de resistencia de la roca en lugares sin fractura y alrededor de las mismas, para obtener información de cómo el patrón de fractura debilita la estructura rocosa del acantilado y, por ello, del edificio de la cavidad costera.

- *Procedimiento de medición*

Las mediciones son fáciles, mediante el uso de aparatos tan sencillos como la brújula para las orientaciones, cinta de medición para la distancia interfractura y calibre para la talla de las mismas, ésta, a medir en fracturas limpias y netas.

Su tratamiento estadístico resultará en la clasificación de esas tres variables en función de su importancia a la hora de generar cuevas, lo que indica que será necesario correlacionar estos parámetros con la existencia y abundancia de grutas litorales.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

- *Patrones densos con fracturas importantes, con orientaciones en la dirección más efectiva de oleajes de viento y oleajes de fondo y otras líneas de debilidad estructural importantes* (Desfavorable/Favorable): la excesiva debilidad del sustrato hace que los edificios rocosos sean inestables cuando presentan oquedades internas, dando lugar a cuevas pequeñas y efímeras.
- *Situaciones intermedias* (Favorable/Desfavorable): suelen otorgar procesos de erosión diferencial selectiva, centrados en puntos concretos del litoral, lo que da lugar a las cuevas de mayor talla.
- *Patrones poco densos con fracturas poco importantes y con orientaciones en otras direcciones a las más efectivas ante oleajes de viento y oleajes de fondo y escasas otras líneas de debilidad estructural* (Desfavorable): escasa actividad de erosión diferencial, por lo que no es un ambiente propicio para el desarrollo de cuevas.

Historia geológica del sustrato (A.5.2)

- *Tipo de variable*: estructural.
- *Aplicabilidad*: recomendable.

Está muy relacionada con la anterior, pues esta historia geológica impone el patrón estructural y la evolución de meteorización de las rocas. La historia

geológica determina cuántas orogenias o períodos tectónicos intensos ha sufrido un sustrato, qué paleoclimas influyeron sobre dichos materiales meteorizándolos, o en qué condiciones se originó esa roca y, por ello, qué inestabilidad presenta a las características climáticas actuales y, por lo tanto, que velocidad de meteorización desarrolla.

- *Propuesta de actuación*

Correlacionar la historia geológica regional con la red de cavidades costeras. Por ejemplo, se reconoce que los tramos costeros con materiales precámbrico-silúricos de tipo metamórfico, metasedimentario, en áreas del zócalo hercínico, con sustratos muy meteorizados, no desarrollan cuevas de gran talla o abundantes en número. También se sabe que las diferencias en el carácter pretectónico, sintectónico o postectónico, en plutonitas con respecto a la orogenia hercínica establece diferencias de resistencias al recibir patrones de fracturas en momentos en los que los materiales cristalinos son ya muy poco flexibles, desestructurando completamente su edificio cristalino y dando lugar a rocas muy deleznales.

- *Procedimiento de medición*

Las mediciones, en este caso, son bastante difíciles. Se pueden obtener conclusiones generalistas sobre dominios rocosos en función de su historia geológica, acerca de su escaso potencial para generar cuevas en función de su meteorizabilidad o erosionabilidad. Así pues, mediciones con un esclerómetro o un martillo Schmidt, pueden corroborar, por correlación, la debilidad e inadaptación de determinadas familias rocosas o dominios litológicos a la actual situación climática y de erosión marina.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

- *Rocas en dominios una historia geológica positiva que les otorga una estabilidad especial* (Desfavorable): la original resistencia de estos roquedos disminuye la potencial aparición de aparatos de erosión subterránea en la costa.
- *Rocas en dominios con una historia geológica relativamente negativa para su resistencia actual a la erosión* (Favorable): da lugar a la aparición de erosiones diferenciales selectivas en torno a las principales líneas de debilidad, lo que favorece el desarrollo de una red estable de cavidades costeras.

- *Rocas en dominios con una historia geológica, tectónica y paleoclimática, convulsa y, por lo tanto, de escaso potencial para la generación de cuevas costeras* (Desfavorable): por ejemplo, el dominio costero de la Serie de Ordes en el Golfo Ártabro, en los que la generación de cuevas es escasa y con ejemplares de poca talla.

Índice de recorte costero (A.5.3)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* recomendable.

El índice de recorte costero ha sido empleado, en algunas ocasiones, para caracterizar costas y como indicador de sensibilidad costera ante posible derrame de residuos. El mismo equipo redactor de esta ficha lo ha presentado en diversos trabajos: 2004, 2007 y 2008. La intención es aplicar este índice por su correlación directa con la posibilidad de desarrollo de cuevas costeras.

- *Propuesta de actuación*

Realización del cálculo de recortes costeros con la cantidad, talla y tipología de cuevas. La conclusión debería ser que a mayor recorte costero, mayor posibilidad de desarrollo de cuevas debido a la concentración de energía por procesos tipo *Venturi* y la existencia de un mayor número de líneas de debilidad de cierta importancia.

- *Procedimiento de medición*

El índice propuesto es la relación entre la longitud real de un tramo de costa, medida a escala grande, por ejemplo, 1:5.000 o superiores, y la longitud de un tramo teórico rectilíneo cuyos extremos coincidan con el anterior. Se pueden establecer intervalos:

- Índice de recorte entre 1 y 2, costa rectilínea.
- Índice de recorte entre 2 y 3, costa dentada.
- Índice de recorte entre 3 y 4, costa recortada.
- Índice de recorte entre 4 y 5, costa muy recortada.
- Índice de recorte entre superior a 5, costa extremadamente recortada.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

- *Costa rectilínea* (Muy Desfavorable/Malo): costas arenosas o costas tectónicas con acantilados tipo *plunging* o falsos acantilados.

- *Costa dentada* (Desfavorable/Favorable): costa a base de grandes ensenadas espaciadas, con retrocesos localizados y amplios.
- *Costa recortada* (Favorable/Desfavorable): costa con numerosos entrantes costeros, de diversa talla y estrechez, con desmantelamiento de acantilados e irregularización de formas de detalle.
- *Costa muy recortada* (Favorable): numerosos entrantes con una densidad tectónica elevada que aporta un retroceso diferencial de grano fino.
- *Costa extremadamente recortada* (Muy favorable): costa en la que se superponen varios patrones de fractura, con retroceso diferencial a varias escalas, apareciendo un tipo de recorte en el que se puede apreciar un comportamiento fractal siguiendo el modelo tipo Isla de Koch.

VARIABLES MARINAS (A.6)

Afectan sensiblemente a la evolución e inicio de las cuevas en el litoral cuando se trata de cuevas semisumergidas y sumergidas, especialmente a las primeras. Su tratamiento en este apartado es obligatorio. Se anotan como más importantes:

Cambios relativos en el nivel del mar (A.6.1)

- *Tipo de variable*: estructural/funcional.
- *Aplicabilidad*: obligatoria.

Interesa este factor en tanto que las cuevas actuales semisumergidas y sumergidas pueden ver modificada su hábitat en función de las oscilaciones marinas futuras. Al igual que aparecen en la actualidad cuevas colgadas que debieron pertenecer al nivel intermareal en pulsaciones transgresivas anteriores, la presente transgresión interglaciar puede modificar la actual distribución del tipo de hábitat y favorecer una erosión acelerada de algunas cuevas, por oleaje o acción mareal, al mismo tiempo que modifica su relación con los niveles marinos de referencia. En los próximos 100 años, en función de diferentes supuestos climáticos, las actuales valoraciones sobre el ascenso medio del nivel marino a nivel mundial hablan de entre 9 cm y 90 cm por encima del actual (Flor, 2004). Sobre las erosiones que está provocando el actual ascenso del nivel marino, han sido estudiadas con diferentes éxitos, siendo necesario decir que, en algunos casos, el

fundamento científico de estos análisis carece de la objetividad suficiente para que sean aquí citados. Al-
gún ejemplo interesante de acercamiento a esta realidad lo presenta, por ejemplo, para la costa cántabra, García Cordón & Rasilla Álvarez, 2005.

- *Propuesta de actuación*

Análisis de los tipos de cuevas más proclives a sufrir cambios drásticos en su hábitat en función de las diferentes posibilidades de subida del mar en el próximo siglo. Han de tenerse en cuenta no sólo los cambios en la composición biótica, sino en la evolución y desmantelamiento de las cuevas más frágiles, además de las influencias en las partes anquihalinas de algunas grutas costeras.

- *Procedimiento de medición*

Las mediciones se realizan desde redes de mareógrafos que indican la evolución del nivel relativo del mar. También puede interesar, a nivel informativo, el aprovechamiento de estudios geotectónicos que puedan explicar cambios generales en algunas regiones por actividad en el manto o estudios de la evolución eustática.

- *Tipología de e “Estados de Conservación”*

- *Ascenso del nivel relativo del mar por fases interglaciares transgresivas o variaciones eustáticas* (Favorable/Desfavorable): favorece el retroceso de los acantilados y la aparición de nuevas cuevas, aunque puede significar el desmantelamiento de otras ya existentes.
- *Mantenimiento de los actuales niveles marinos* (Favorable): lo que conlleva el mantenimiento de los alcances mareales actuales que condicionan también así el alcance del oleaje. Las variaciones quedan a merced de cambios en la frecuencia de períodos tempestivos.
- *Descenso del nivel relativo del mar* (Desfavorable): por fases glaciares regresivas para el nivel marino o variaciones eustáticas. Conlleva la inactividad de numerosas cuevas que se encuentran en el intermareal en la actualidad, haciendo desaparecer la actual estructura del hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas.

Parámetro mareal (A.6.2)

- *Tipo de variable*: funcional.
- *Aplicabilidad*: obligatoria.

El alcance mareal se erige como el más importante en la distribución de los seres vivos en la costa, puesto que muchos de ellos sobreviven por su inmersión o contacto directo con el agua colocándose, de manera especializada, en diferentes franjas en función de la carrera de marea. Las mareas varían en función de la localización geográfica o la distancia a los puntos anfidrómicos, pero lo que nos ocupa realmente son las diferencias existentes en el área de estudio. En ella, podemos dividir la costa española en: ambientes micromareales, que alcanzan a la costa mediterránea, y mesomareales, que existen en el resto del litoral peninsular y canario.

- *Propuesta de actuación*
Análisis de las diferencias ecológicas en cuevas en función del régimen mareal a que se ven sujetas.
- *Procedimiento de medición*
Las mediciones se realizan desde redes de mareógrafos que indican la evolución de los niveles mareales. El problema de estas redes es que, habitualmente, se localizan en puertos importantes en los que se están produciendo cambios morfológicos artificiales que pueden falsear tendencias evolutivas en los datos de mareas. Dragados, cambios en las secciones de paso en entrada a las dársenas que contienen los mareógrafos, etc. pueden provocar interferencias en las series de datos obtenidas en los mareógrafos.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
Ya que los seres vivos están adaptados a las condiciones marinas naturales en las que viven, las cuales son culpables de su distribución y especiación, será muy complicado enfocar el carácter positivo o negativo de las diferencias mareales en el tipo de hábitat 8330. En todo caso, los regímenes mareales macrotidales permiten un mayor alcance marino y que el oleaje trabaje los acantilados de cara a su evolución formando cuevas y otras geoformas, por lo que, orientando el problema de esa manera, podríamos establecer la siguiente escala:
 - *Ambientes macromareales* (Muy Favorable): favorecen intensamente la actividad erosiva del mar por un alcance continental mayor y en una franja costera más extensa.
 - *Ambientes mesomareales* (Favorable): favorecen la actividad erosiva del mar en una franja costera menor.

- *Ambientes micromareales* (Desfavorable): no favorecen la actividad erosiva marina, por lo que las cuevas deben de evolucionar por factores continentales o paleoprocesos marinos.

Parámetro oleaje (A.6.3)

- *Tipo de variable*: estructural/funcional.
- *Aplicabilidad*: obligatoria.

El oleaje es el principal factor marino erosivo sobre los frentes acantilados y las cuevas. El régimen de oleaje, relacionado con los parámetros atmosféricos, condiciona y determina los ritmos erosivos costeros, por lo que es de obligatorio análisis en el presente estudio.

- *Propuesta de actuación*
Elaboración de informes y cartografías específicas de las frecuencias de temporales y de oleajes significativos para las áreas de la red de muestreo, llevando los datos a un SIG geosistémico de cuevas para su control futuro en lo que se refiere al estado de la estructura y función del hábitat.
- *Procedimiento de medición*
Siguiendo los datos de la red de boyas del organismo Puertos del Estado, aunque es necesario observar qué tipos de oleaje afectan más a la evolución de las cuevas, aplicando la máxima de que la costa evoluciona a partir de eventos extraordinarios de alta energía y baja frecuencia de retorno. Se deben de escoger cuevas similares en ambientes muy diferenciados para obtener datos significativos y extrapolables a toda la costa española.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Muy Alta frecuencia de oleajes de tormenta* (altura de ola significativa en más del 7% de los casos superior a 7 metros), régimen anual de altura significativa de ola que supera en más del 50% de los casos los 2,5 metros (Muy Favorable): a nivel general, las costas cántabras occidentales y el noroeste de Galicia.
 - *Frecuencia de oleajes de tormenta alta* (altura de ola significativa en más del 7% de los casos entre 5,5 y 7 metros) pero menor que en el caso anterior y régimen anual de altura significativa de ola que en más del 50% de los casos se encuentra entre 2,5 y 2 metros (Favorable): a nivel gene-

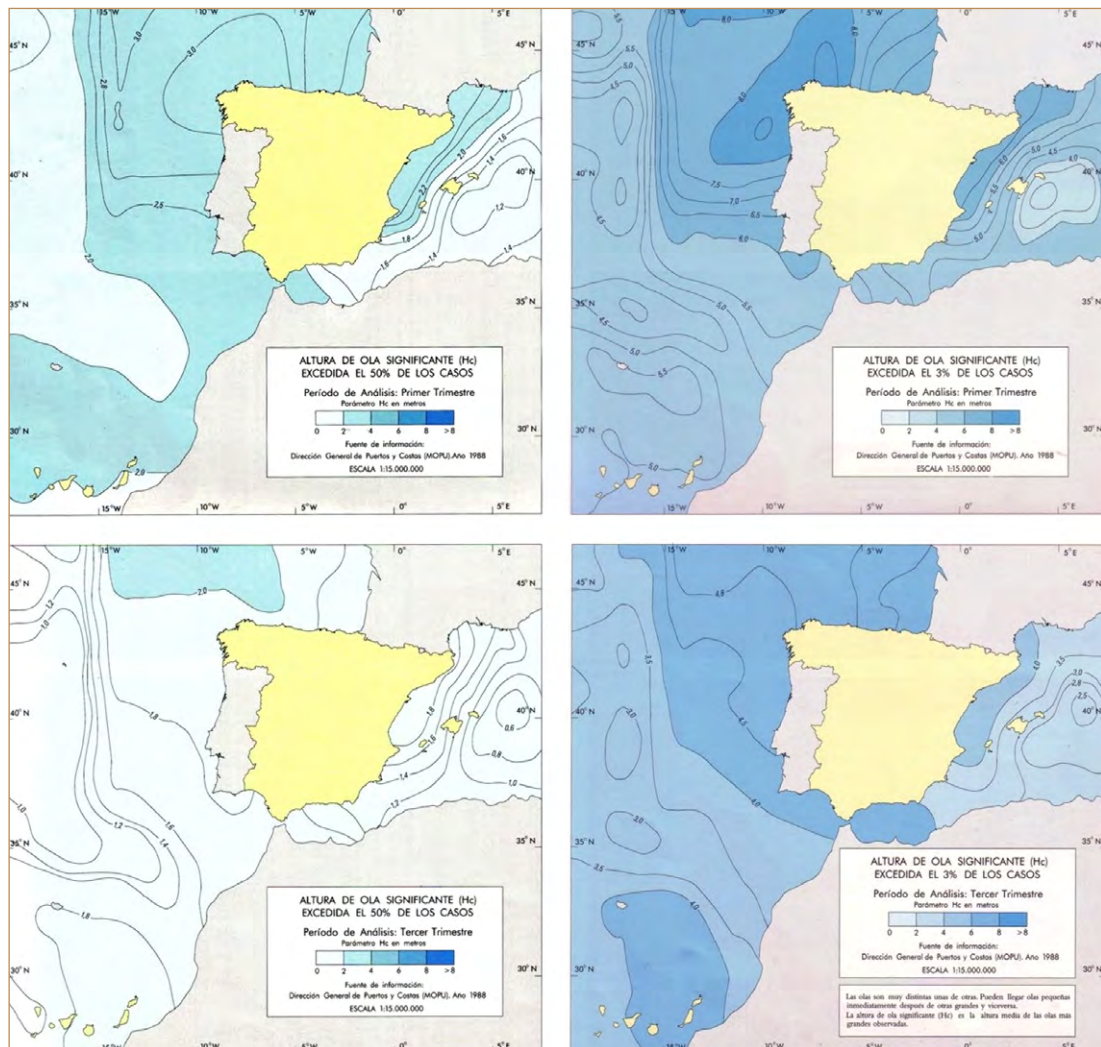


Figura 3.1

Muestra las variaciones en el parámetro del oleaje a lo largo del año sobre las costas de la Península Ibérica, Baleares y Canarias.

Obtenido del *Atlas Nacional de España*, con información de la Dirección General de Costas, 1988.

ral, las costas cántabras orientales y centrales y las Rías Baixas gallegas.

- *Frecuencia de oleajes de tormenta baja (altura de ola significativa en más del 7% de los casos entre 4 y 5,5 metros) y régimen anual de altura significativa de ola que no supera en más del 50% de los asos los 2 metros (Desfavorable):* a nivel general, las costas mediterráneas.

Parámetro salinidad (A.6.4)

- *Tipo de variable:* funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Como se ha anotado con anterioridad, los valores de la salinidad en el mar varían notablemente, siendo la costa un medio hipersalino, frente a otras partes del océano, por su escasa profundidad y el confinamiento de aguas en el intermareal, si no existen masas de aguas continentales desaguando en las proximidades. Las diferencias entre el Mediterráneo y el Atlántico conllevan la distribución de especies diferentes, siendo el grado salino un medio de especiación. Pero es posible que la existencia de anomalías lleve a un mayor o menor poblamiento de las cuevas y, por ello, que el factor salino influya en el desarrollo correcto del tipo de hábitat. Ello puede ser detectado si se analiza la salinidad en las cuevas.

Las diferencias regionales de salinidad y la especiación relacionada hace que no se puedan establecer una clasificación ni valoración utilizando valores de salinidad en tantos por mil, puesto que los umbrales de vida son muy diferentes en función de las especies, estén ubicadas en cuevas costeras o en el exterior de las mismas. Tomaremos, pues, el concepto de hipersalinidad, salinidad media e hiposalinidad para valorar su negatividad o su carácter positivo para el desarrollo del tipo de hábitat.

Las descargas fluviales, los afloramientos costeros de aguas profundas y los aportes directos de aguas continentales en las cuevas son las principales variables locales que producen anomalías en la salinidad habitual de un tramo costero determinado.

- *Propuesta de actuación*
Analizar las variaciones de salinidad en el interior de las cuevas en relación a los sectores costeros próximos, para ver en qué medida un posible ambiente salino diferenciado en el interior de las cuevas puede condicionar la presencia de organismos vivos.
- *Procedimiento de medición*
La realización de mediciones de salinidad en cuevas podría llevarse a cabo con instrumentos CTD adaptados a las dimensiones de la misma. Estos instrumentos son la manera más interesante para medir características del agua como la salinidad, la temperatura, la presión, la profundidad y la densidad de la misma. Las siglas CTD significan: Conductividad-Temperatura- Profundidad (*Depth*, en inglés). Como estos instrumentos realizan ya mediciones muy rápidas, de hasta 24 datos por segundo, los test pueden ser muy rápidos, lo que permitiría a estas sondas trabajar en cuevas semisumergidas e, incluso, aquéllas supramareales con la llegada ocasional de la ola en marea alta. Esto suministra una descripción muy detallada del agua que está siendo examinada y nos permitirá conocer cuál es la salinidad en las cuevas y con qué factores se relaciona la posible anomalía salina.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Anomalía hipersalina (Muy Desfavorable/Malo)*: puede provocar problemas de adaptación y cobertura en algunos seres vivos del hábitat.

- *Salinidad media esperada (Favorable)*: adaptada a los organismos de esa región natural, conlleva el equilibrio ecosistémico y, por ello, el desarrollo de todas las comunidades vivas posibles en función de los otros parámetros.
- *Anomalía hiposalina (Muy Desfavorable/Malo)*: puede provocar problemas de adaptación y cobertura en algunos seres vivos del hábitat.

Hidrología (A.7)

Régimen hidrológico (A.7.1)

- *Tipo de variable*: estructural/funcional.
- *Aplicabilidad*: recomendable.

El régimen de precipitaciones y la evapotranspiración potencial y efectiva son parámetros que influyen en los aportes hídricos de agua dulce en el interior de las cuevas y en la meteorización rocosa de los techos de las cuevas. Su análisis otorgará datos importantes sobre su efecto en la evolución de las cuevas y sus comunidades de habitantes.

- *Propuesta de actuación*
Estudio de los efectos de las precipitaciones en el hábitat salino interior de las cuevas, además de la influencia en la meteorización de los techos de las cuevas y su desplome.
- *Procedimiento de medición*
Se puede desarrollar un sistema de medición de las entradas de agua por el techo de las cuevas a base de recipientes acoplados que deben ser controlados con cierta frecuencia. Los datos de precipitaciones se pueden obtener por métodos estadísticos de la combinación de las series de los observatorios meteorológicos más próximos o instalando estaciones portátiles en las proximidades de las cuevas que se elijan para realizar el estudio.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
Pensando en el potencial desmantelamiento de los techos de las cuevas por la acción de las aguas continentales:
 - *Régimen de altas o bajas precipitaciones concentradas en eventos extraordinarios y alta ETP (Muy Desfavorable)*: el litoral levantino es un ejemplo.

- *Régimen altas precipitaciones y baja ETP, sin eventos extraordinarios* (Desfavorable): el litoral norte, noroeste y suroeste de España.
- *Régimen de bajas precipitaciones y alta ETP* (Favorable): ámbitos de mayor sequedad y menos afectados por las gotas frías.

Tipo de escorrentía (A.7.2)

Se refiere al discurrir de los flujos hídricos de pluviales en la superficie y área subsuperficial de las vertientes y acantilados costeros, así como de sus influencias en la evolución de las cuevas y su biota.

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.
- *Propuesta de actuación*
Estudio de los efectos de la escorrentía superficial y subsuperficial en el hábitat salino interior de las cuevas, además de la influencia en la meteorización de los techos de las cuevas y su desplome.
- *Procedimiento de medición*
Se puede obrar la medición de la escorrentía diseñando un sistema de recipientes apropiados para ser colocados en las paredes y el techo de las cuevas para recoger los caudales de escorrentía superficial o subsuperficial en el edificio rocoso que contiene la oquedad costera.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Notables y abundantes escorrentías de tipo concentrado o laminar, superficiales y subsuperficiales* (Muy Desfavorable): el clima oceánico atlántico húmedo e hiperhúmedo favorece este caso.
 - *Escorrentías superficiales de tipo concentrado, en pocos puntos y sin caudales elevados, concentradas en determinados momentos del año* (Desfavorable/Favorable): en climas de tipo submediterráneo o mediterráneo
 - *Ausencia de escorrentías superficiales y subsuperficiales por filtraciones más profundas o por un factor climático que induzca inexistencia de recursos hídricos suficientes* (Favorable): en rocas porosas, como las volcánicas, o filtrantes, como las calcáreas, y en climas muy secos, semiáridos o áridos.

■ Factores biogeográficos (B)

De composición (B.1)

Se refiere al grado de conservación de la estructura y la función de las comunidades animales y vegetales existentes en el tipo de hábitat. Los parámetros más importantes a estudiar son los siguientes:

Biodiversidad (B.1.1)

- *Tipo de variable:* funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

La biodiversidad es un buen indicador del estado de conservación de los tipos de hábitat, la presencia de todas las comunidades típicas y de endemismos, valoriza cualquier tipo de hábitat y, por lo tanto, también el que aquí se trata.

- *Propuesta de actuación*
Se trataría de estudiar la riqueza de seres vivos existentes en las cuevas y observar si aparecen las comunidades esperables o falta alguna cintura en función de factores limitantes de tipo natural o humano. La riqueza se utiliza, habitualmente, como sinónimo de diversidad, aunque el segundo término sólo debe emplearse para denominar el parámetro que mide la relación ponderada entre la riqueza y la abundancia. Por tanto, la riqueza debe ser entendida como el número de especies integrantes de una comunidad si bien, en muchos casos, se considera que este parámetro es una medida de diversidad muy útil (Magurrán, 1989) (Molina Holgado, en Meaza 2000).
- *Procedimiento de medición*
Pueden reconocerse diversos tipos de riqueza, expresados en todos los casos mediante valores globales, dato que corresponde al número de especies presentes en la unidad o muestras analizadas (inventario o grupo de inventarios) (Meaza, 2000). Algunos de éstos se presentan en la citada obra:
 - *Riqueza total o riqueza acumulada* (r): número total de especies para el conjunto de la muestra.
 - *Riqueza media* (r): número medio de especies ($r = r_i / n$).
 - *Riqueza máxima* (r_M): número de especies de la unidad de muestreo de riqueza más elevada.

- *Riqueza mínima* (r_m): número de especies de la unidad de muestreo de riqueza más baja.
- *Riqueza total anual* (r_t anual): número total de especies/muestra durante el período de análisis.

Se trataría, pues, de elegir una red de muestreo como la que se propone en el apartado de ficha correspondiente y realizar inventarios para obtener datos estadísticos por regiones biogeográficas y regiones naturales de niveles de corte inferiores y, posteriormente, poder dilucidar el grado de diversidad animal que presentan las diferentes cuevas. Posteriormente se pueden buscar los factores que están afectando a esas cuevas para que no desarrollen correctamente las comunidades típicas del tipo de hábitat.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Cuevas con una riqueza o diversidad de especies elevada* (Muy favorable/Favorable): la abundancia y elevada biodiversidad asegura el correcto comportamiento ecosistémico y relaciones interespecíficas.
 - *Cuevas con una riqueza o diversidad de especies próxima a la media* (Favorable/Desfavorable): la abundancia y elevada biodiversidad permite un margen de mejora para la reconstrucción completa del ecosistema por la falta de algunas especies, desarrollándose un comportamiento ecosistémico aceptable.
 - *Cuevas con una riqueza o diversidad de especies baja* (Muy Desfavorable/Malo): la escasez de especies no permite que se complete la función ecológica de las diferentes especies, por lo que las comunidades vivas, sujetas a algún tipo de variable negativa, pueden ir desapareciendo y, con ellas, la conservación correcta del hábitat.

Composición florística y de la fauna (B.1.2)

- *Tipo de variable*: funcional.
- *Aplicabilidad*: obligatoria.

Es un parámetro muy similar al anterior pero a nivel de comunidades y de la taxonomía animal y vegetal.

- *Propuesta de actuación*
A partir de las asociaciones de seres vivos establecidas como propias de ese tipo de hábitat, analizar cuántas aparecen y cuántas no están presentes

en cada cueva. Se relacionaría, de esta manera, el tipo de cueva con el número de asociaciones presentes y se establecería un índice de presencia/ausencia de las mismas y una clasificación de cuevas en función de la riqueza de agrupaciones animales y vegetales.

- *Procedimiento de medición*
Se debe de ajustar en esquema taxonómico propio de cada región natural o nivel inferior para el presente tipo de hábitat.
Se realizarían inventarios de asociaciones y jerarquías superiores.
Se establecerían los extremos de mayor riqueza y menor riqueza de comunidades.
Se correlacionaría el tipo de cuevas con la presencia/ausencia de las comunidades propias de las cuevas.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Cuevas en las que aparece más del 75% de las comunidades posibles en una cavidad costera completa* (Muy favorable): la estructura y función ecológica del hábitat parecen estar aseguradas en las condiciones actuales.
 - *Cuevas que contienen entre el 50% y el 75% de las comunidades posibles* (Favorable): la estructura y función ecológica del hábitat suelen mantenerse pero existen factores negativos que pueden desestabilizar el correcto funcionamiento ecosistémico.
 - *Cuevas que sólo presentan entre el 25% y el 50% de las comunidades posibles* (Desfavorable): la estructura y la función se ven claramente afectadas y el ecosistema puede entrar en recesión.
 - *Cuevas que no alcanzan el 25% de las comunidades posibles en las cuevas costeras completas del litoral de esa región natural o nivel inferior* (Malo): no existe un correcto funcionamiento del hábitat, que está en franco receso y corre peligro de desaparecer.

Grado de naturalidad de la vegetación y la fauna (B.1.3)

- *Tipo de variable*: funcional.
- *Aplicabilidad*: obligatoria.

Se trata de analizar las injerencias de tipo bioinvasivo y exótico existentes en las comunidades de las

cuevas. El grado de naturalidad implica diferencias en el estado de conservación y en la correcta funcionalidad del hábitat, pues las especies bioinvasoras modifican las propiedades de los ecosistemas, reducen la diversidad de especies nativas, provocan hibridaciones y causan problemas en la integridad genética de las especies autóctonas, etc.

- *Propuesta de actuación*

Se trata de valorar el porcentaje de especies invasoras y/o exóticas en el tipo de hábitat que aquí se trata, con especial atención, también, al número de comunidades afectadas por estos taxones y el grado de abundancia/dominancia sobre las especies nativas y propias de las cuevas.

- *Procedimiento de medición*

Es necesaria la realización de inventarios de vegetación y fauna en las cuevas de la red de muestreo elegida. La identificación de especies no nativas, su calificación en exóticas y exóticas bioinvasoras, su relación abundancia/dominancia en cada comunidad de seres vivos y los posibles efectos negativos que está desarrollando en el tipo de hábitat de cuevas.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

Se propone, a nivel orientativo, una clasificación sólo provisional y cualitativa a la espera de que estudios iniciales otorguen unos rangos de clasificación que permitan cuantificar numéricamente los diferentes grados de afecciones:

- *Dominio de especies bioinvasoras y/o exóticas* (Malo): el ecosistema está muy transformado y la estructura y la función del hábitat está muy degradada.
- *Presencia de especies bioinvasoras y/o exóticas* (Desfavorable): el ecosistema está transformado y la estructura y la función del hábitat no es la correcta.
- *Ausencia de especies bioinvasoras y/o exóticas* (Favorable/Muy Favorable): el ecosistema no se encuentra afectado por especies foráneas y conserva su estructura y función en perfecto estado en relación a este factor.

Presencia de especies indicadoras de calidad ambiental (B.1.4)

- *Tipo de variable:* funcional.
- *Aplicabilidad:* recomendable.

Algunas especies de líquenes y vegetales mayores funcionan como interesantes indicadores de contaminación, existencia de medios dinámicos o de suelos contaminados. La identificación de estas especies en cuevas y su seguimiento puede servir para controlar el estado de conservación de la biota de las cavidades costeras y la “salud” de la estructura y la función del hábitat.

- *Propuesta de actuación*

Identificación de especies indicadoras de contaminación, dinamismo y niveles marinos en las cuevas.

Análisis de presencia/ausencia y abundancia/dominancia de las mismas para clasificar las cuevas y obtener información sobre la funcionalidad del ecosistema del tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas.

- *Propuesta de medición*

Inventarios de vegetación y fauna e inclusión de los datos sobre especies bioindicadoras en un SIG sobre el geosistema de cuevas semisumergidas y sumergidas del litoral español.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

- *Desaparición de especies bioindicadoras de niveles contaminantes* (Desfavorable): pues indica la existencia de contaminación y la pérdida de biodiversidad.
- *Presencia de especies muy sensibles a la contaminación* (Favorable): indica la existencia de nula o muy escasa contaminación y, por ello, de un funcionamiento correcto del ecosistema con respecto a esa variable.
- *Aparición de especies bioindicadoras de condiciones marinas muy energéticas o dinámica continental elevada* (Desfavorable): se pueden producir efectos erosivos críticos que destruyan la estructura de la cueva.
- *Ausencia de especies bioindicadoras de condiciones marinas muy energéticas o de una dinámica continental intensa* (Favorable): indica estabilidad en la cueva y durabilidad temporal de la misma.
- *Presencia de bioindicadores de niveles marinos que indican que se están produciendo cambios en el nivel del mar* (Desfavorable): las franjas de poblamiento mareal y el ecosistema se pueden ver transformados, produciéndose una anomalía en el hábitat.
- *Ausencia de bioindicadores de niveles marinos que indiquen que se están produciendo cambios*

sensibles en los niveles marinos en la actualidad (Favorable): indica una estabilidad y un funcionamiento correcto y duradero de la estructura del hábitat.

De erosión (B.2)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* recomendable.

Se refiere a la erosión física y química provocada por el desarrollo fisiológico y fisionómico de la vegetación y la fauna.

Bioclastia y bioerosión química (B.2.1)

La bioclastia es un factor poco estudiado y con una cierta importancia en la evolución de cuevas. La transformación de la cubierta vegetal en los acantilados y los techos de las cuevas lleva a la aparición de nuevas formaciones vegetales no propias del ambiente y que inducen un mayor proceso erosivo que acelera la evolución y colapso de las cuevas. Por ejemplo, las plantaciones forestales o las difusiones bioinvasoras como las del género *Eucalyptus* en el norte y noroeste de la Península, han llevado a serios problemas de bioerosión, bioclastia especialmente, en algunos tramos acantilados, provocando deslizamientos, desprendimientos, caídas de bloques y desplome de cuevas. El desplome de cuevas se debe al peso específico de las toneladas de biomasa por metro o centímetro cuadrado en el borde de los acantilados o por el pinzamiento que las raíces de los árboles desarrollan en las fracturas de la roca (ver fotografía 15).

- *Propuesta de actuación*
Cartografiado de las masas forestales de monte alto o monte arbolado en las costas acantiladas españolas, especialmente de las especies bioinvasoras como el eucalipto. Cotejar con la cartografía de localización de cuevas.
- *Procedimiento de medición*
A base de fotointerpretación de masas arboladas costeras y el trabajo de campo de identificación definitiva de especies. Se debe realizar una integración cartográfica en un SIG general sobre los factores incidentes en la evolución de las cuevas.

• Tipología de “Estados de Conservación”

- *Presencia de monte arbolado con eucaliptos y géneros de igual impacto bioclástico en el techo de las cuevas o en el borde de los acantilados* (Malo): especialmente eucaliptales que dan lugar a procesos bioclásticos intensos.
- *Presencia de monte arbolado en el techo de las cuevas o en el borde de los acantilados* (Malo/ Muy Desfavorable): otras especies sin poder bioclástico notable pero con influencia en la evolución de los acantilados mediante pinzamientos y transformaciones químicas en la roca.
- *Presencia de matorral leñoso en el techo de las cuevas o en el borde de los acantilados / o de especies exóticas y/o bioinvasoras con potencial bioclástico significativo* (Desfavorable): menor potencial bioclástico pero notable en formaciones adultas, llegando a actuar de manera similar que ejemplares jóvenes de especies arbóreas. Algunas especies exóticas producen efectos similares por desprotección de frentes acantilados y descompensación entre el peso de ramajes y escaso enraizamiento. Por ejemplo, el género *Carpobrotus* sp. Tiene un gran peso de tallos y ramajes mientras sus raíces no sirven de protección ante deslizamientos o desprendimientos, por lo que el peso general de la mata, ante socavamientos basales, lleva al desplome de acantilados meteorizados.
- *Presencia de tipos herbáceos en los frentes acantilados y el techo de las cuevas, con vegetación propia del ecosistema litoral nativo* (Favorable): no ejerce influencia bioclástica sensible sobre los acantilados ni las cuevas. Su acción bioerosiva de tipo químico es lenta y poco impactante.

■ Factores de influencia humana (C)

Son el mayor problema para la conservación de este tipo de hábitat, toda vez que los cambios ambientales naturales suelen implicar la desaparición de algunas cuevas para dar formación a otras con un equilibrio geosistémico más que desmostrado. La ocupación del litoral es el factor general antrópico que reúne la mayor parte de agresiones no naturales al ecosistema de las cuevas litorales. Existen numerosas variables implicadas en este factor general de las cuales, las de mayor peso, se tratan a continuación.

Intensidad de ocupación humana del litoral (C.1)

La intensidad en el litoral se convierte en el factor general y menos concreto de los presentados en este apartado. Hace referencia a la superficie ocupada con actividades y construcciones antrópicas, al tránsito de personas y vehículos, a las contaminaciones concentradas y difusas, en fin, a la huella ecológica. Existen numerosos índices y metodologías para analizar la huella ecológica del hombre en el territorio. A nivel general, se puede citar como propuestas interesantes el *sistema compuesto* de Chambers, Simmons & Wackernagel, 2000, derivado del de Wackernagel & Rees, 1996, además del de Venetoulis, Chazan & Gaudet, 2004 (Martín Palmero, 2004). Por ejemplo, para el caso gallego, extrapolable a algunas regiones del norte peninsular, la principal obra de referencia es la de Martín Palmero, 2004. Lejos de adentrarnos en este complejo concepto y en sus métodos, nos centraremos en algunas variables más concretas y menos complejas de analizar.

Usos del suelo (C.1.1)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Los usos del suelo en la costa tienen diferentes implicaciones en la desestabilización de los ecosistemas costeros. Según el tipo de usos, los riesgos y las agresiones al ecosistema son diferentes en tipo e intensidad.

- *Propuesta de actuación*
Observación de las implicaciones de los diferentes usos del suelo en la dinámica costera y en la estabilidad geomorfológica y biótica del hábitat que nos ocupa.
- *Procedimiento de medición*
Fotointerpretación y cartografía de los usos del suelo en las proximidades de los puntos de la red de muestreo. Identificación y calificación de los impactos asociados y elaboración de cartografía de riesgos para el hábitat.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
Se realiza la clasificación en función de los diferentes tipos generales de usos de suelo en las costas españolas:

- *Uso industrial* (Malo): por contaminación, interferencia en los recursos hídricos, frecuentación del litoral con actividades pesadas, por vibraciones y ruidos intensos.
- *Uso turístico/recreativo masivo* (Malo): por tránsitos densos en la costa, actividades constructivas poco racionales, modificación de los flujos hídricos, contaminación, etc.
- *Uso turístico/recreativo de baja densidad o poblamiento rural* (Desfavorable): por tránsitos costeros relativamente densos, anomalías constructivas y modificación de flujos hídricos e interferencia en la fauna y la vegetación.
- *Usos urbanos y residenciales densos* (Malo): por contaminación, interferencia en los recursos hídricos, frecuentación del litoral con actividades pesadas, por vibraciones y ruidos intensos.
- *Usos forestales o agropecuarios intensivos* (Desfavorable): contaminación, transformación de la cubierta vegetal y las comunidades faunísticas naturales; favorecimiento de los fenómenos de bioclastia; erosiones derivadas de la extracción maderera, etc.
- *Usos agropecuarios extensivos* (Desfavorable/Favorable): contaminación, transformación de la cubierta vegetal, frecuentación en los bordes costeros.
- *Usos forestales tradicionales* (Desfavorable/Favorable): bioclastia, transformación de la cubierta vegetal, frecuentación de los bordes costeros.
- *Usos de protección de la naturaleza* (Favorable): relativa protección y límite a las actividades humanas, pero existe peligro de no cumplir la legislación o de recalificaciones de terreno a partir de intereses socioeconómicos. Riesgo potencial.
- *Ausencia de ocupación humana* (Muy favorable): es la situación más positiva con respecto al factor humano, pues es en la que menos efectos negativos tiene el desarrollo de las actividades socioeconómicas regionales.

Densidad de ocupación (C.1.2)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* recomendable.

Este concepto nos da una idea de qué espacios quedan libres de influencias antrópicas negativas, físicas directas, y qué espacios muestran diferentes grados

de interferencia en los procesos naturales desarrollados en el litoral. Correspondería realizar un estudio concreto para cada región natural y niveles de corte inferiores, para dilucidar los umbrales a considerar de cara a establecer una clasificación de densidades de ocupación, puesto que las capacidades de carga varían en cada territorio en función de sus características físicas. Sólo podemos hacer referencia, pues, a una clasificación cualitativa general:

- *Propuesta de actuación*

Establecer la densidad de ocupación de elementos antrópicos no vivos, es decir, carreteras, viviendas, naves industriales, establecimientos turísticos e infraestructuras de otros tipos, sobre el total de superficie de la franja costera de los 500 m desde la línea de costa. Se aplica la franja más restrictiva y amplía de las legislaciones españolas, en este caso la gallega, que ha propuesto en proyecto esta distancia, la cual se llevará, teóricamente, a la práctica con la redacción del Plan de Ordenación del Litoral, a redactar en el bienio 2008-2009.

- *Procedimiento de medición*

Los procedimientos de medición deben comportar la fotointerpretación sobre imágenes aéreas georreferenciadas con la mayor actualidad posible. Se recomienda llevar a cabo un vuelo para los tramos de costa de la red de muestreo de cuevas. No siendo posible, se recomienda la utilización de diferentes vuelos que contengan la información más reciente debido a los intensos cambios que está experimentando el litoral español.

- *Tipología de los Estados de Conservación*

- *Densidades de ocupación humana altas* (Malo/ Muy Desfavorable): desarrollo variado e intenso de actividades que comportan erosión y desequilibrio de los ecosistemas costeros.
- *Densidades de ocupación humana medias* (Desfavorable): desarrollo de algunas actividades, más o menos de manera intensa o con impacto asegurado, que comportan problemas de erosión, contaminación y desequilibrio ecosistémico en algunos sectores del litoral.
- *Densidades de ocupación humana bajas* (Favorable/Desfavorable): desarrollo de alguna/as actividades que producen problemas de erosión, contaminación o desequilibrio ecosistémico de tipo puntuales en los sectores de costa escenario de las mismas.

- *Mínima* (actividades tradicionales poco pesadas) o *Nula ocupación humana del litoral* (Favorable): buen estado de conservación en general, por poca presión en el litoral. Los impactos ocasionales o puntuales, normalmente blandos, pueden ser corregidos por el propio sistema natural costero.

Actividades industriales (C.2)

Las actividades industriales tienen cada vez un mayor peso en los impactos humanos sobre el litoral debido al basculamiento de las actividades humanas, a la franja costera y a las competencias locales que llevan a una planificación industrial de tipo municipal. Esto significa una atomización de los suelos e infraestructuras industriales que ocupan, en no pocos casos, frentes costeros sedimentarios o rocosos. A ello se refieren los dos subtipos de variables que se anotan a continuación.

Ocupación física de las vertientes acantiladas (C.2.1)

- *Tipo de variable*: estructural.
- *Aplicabilidad*: obligatoria.

La producción energética e industrial está encontrando en la costa uno de sus lugares predilectos para desarrollarse. La cercanía de grandes poblaciones y sistemas portuarios potentes resulta atractivo para los asentamientos de industrias y polígonos de servicios en los frentes costeros. La ocupación física del litoral por este tipo de actividades lleva parejo el aumento de las agresiones físicas sobre el ecosistema costero, tanto en lo que se refiere a la biota como a la evolución geomorfológica de dunas y acantilados. Granjas acuícolas, polígonos de aerogeneradores, plataformas logísticas, refinerías, centrales térmicas, desgasificadoras, se multiplican por nuestras costas provocando graves procesos erosivos e interferencias en los lazos ecosistémicos. Los acantilados y las cuevas no son ajenos a estas potenciales erosiones y degradaciones que son capaces de dinamizar las laderas costeras a base de deslizamientos, desprendimientos o fosilizaciones artificiales.

- *Propuesta de actuación*

Identificación de los elementos antrópicos de tipo industrial en las vertientes costeras o en las

frangas próximas a las mismas; clasificación tipológica y correlación con huellas de inestabilidad en la costa rocosa. Catálogo y conclusión de los tipos de elementos o actuaciones más impactantes en los frentes acantilados y las cuevas.

- *Procedimiento de medición*
Fotointerpretación y cartografía de las actividades y establecimientos industriales que afectan a las vertientes costeras y los techos de los acantilados. Cartografía de los signos de inestabilidad. Superposición de capas de información en un SIG y análisis de correlaciones y procesos directos causa (actividad industrial en la costa)-efecto (de desestabilización o contaminación).
- *Tipología de estados de conservación*
 - *Vertientes o techos de acantilado con ocupación industrial y tránsito de sustancias, desechos o vehículos peligrosos derivados de dicha actividad (Malo):* la inestabilidad de los frentes rocosos, la contaminación de las aguas costeras y la degradación del ecosistema son sólo cuestión de tiempo.
 - *Vertientes o techos de acantilado con presencia de actividades industriales pero sin tránsito evidente de sustancias, desechos o vehículos peligrosos derivados de dichas actividades (Desfavorable):* la inestabilidad de los frentes rocosos, la contaminación de las aguas costeras y la degradación del ecosistema son sólo cuestión de tiempo, pero pueden ser de inferior rango si se evacúan las sustancias nocivas y se desplaza hacia el interior el tráfico pesado.
 - *Vertientes y techos de acantilado sin actividad industrial próxima ni tránsito de sustancias, vehículos o desechos relacionados con esas actividades (Favorable):* no existen impactos potenciales y la función y la estructura del ecosistema no se ven ni afectadas ni degradadas por este factor.

Vertidos industriales (C.2.2)

- *Tipo de variable:* funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.
- *Propuesta de actuación*
Identificar los flujos contaminantes hacia el mar en los polígonos industriales. También se entien-

den como puntos de contaminación a incluir en este apartado los vertederos urbanos costeros que vierten directamente al mar. Algunos, en las vertientes que miran al mar en lugares poco visibles desde las zonas pobladas que los mantienen, siguen contaminando a través de sus lixiviados durante décadas. Se deben identificar, también, las piscifactorías costeras, que se están convirtiendo en un problema serio de transformación de las aguas costeras a través de los circuitos de alimentación y expulsión de aguas residuales. Los perniciosos efectos de la contaminación industrial por vertidos directos costeros está más que demostrada, con profunda alteración del medio biótico, y ello llega, incluso, al ser humano a través de la cadena alimenticia. Un ejemplo famoso es el de la Bahía de Minimata, en Japón, donde el vertido de compuestos de mercurio procedentes de la producción de acetildehído pasó de las almejas al ser humano con graves intoxicaciones en cientos de pacientes entre 1955 y 1970 (Heinrich & Herat, 1990).

- *Procedimiento de medición*
Se puede establecer una red de muestreo de puntos contaminantes en los emisarios o cursos fluviales afectados por la actividad industrial próxima al mar. Parece interesante, también, realizar una red de muestreo para la toma de muestras posteriormente analizadas químicamente. Esta red de muestreo deberá concentrar sus puntos en las proximidades de los tramos con cuevas elegidos.
- *Tipología de “Estados de Conservación”:*
 - *Vertientes o techos de acantilado con ocupación industrial, vertederos urbanos o piscifactorías, y de tránsito de sustancias, desechos o vehículos peligrosos derivados de dicha actividad (Malo):* la inestabilidad de los frentes rocosos, la contaminación de las aguas costeras y la degradación del ecosistema son sólo cuestión de tiempo.
 - *Vertientes o techos de acantilado con presencia de actividades industriales, vertederos urbanos o piscifactorías, pero sin tránsito evidente de sustancias, desechos o vehículos peligrosos derivados de dichas actividades (Desfavorable):* la inestabilidad de los frentes rocosos, la contaminación de las aguas costeras y la degradación del ecosistema son sólo cuestión de tiempo, pero

pueden ser de inferior rango si se evacúan las sustancias nocivas y se desplaza hacia el interior el tráfico pesado.

- *Vertientes y techos de acantilado sin actividad industrial ni de vertederos urbanos, ni piscifactorías próximas, ni tránsito de sustancias, vehículos o desechos relacionados con esas actividades* (Favorable): no existen impactos potenciales y la función y la estructura del ecosistema no se ven ni afectadas ni degradadas por este factor.

Actividades residenciales (C.3)

Este apartado se refiere a las degradaciones ambientales y las inestabilidades costeras derivadas de la ocupación residencial de las costas, cada vez más intensa y problemática en las costas españolas. El 25% de la costa peninsular es artificial, mientras el 60% de las playas mediterráneas se encuentran en entornos urbanizados y el 50% de la longitud de las mismas necesita de actuaciones de recuperación, esperándose que en el año 2050 el retroceso medio de la costa española sea de unos 15 m (López Bedoya, 2008, en prensa).

Construcciones residenciales (C.3.1)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

En este apartado de construcciones residenciales se incluyen todas aquellas edificaciones que no sean de tipo industrial, incluyendo turísticas y de vivienda costera, además de infraestructuras relacionadas con las mismas, como aparcamientos o vías de comunicación de acceso a las áreas residenciales del litoral.

- *Propuesta de actuación*
Análisis del impacto físico sobre el ecosistema de acantilado y de cuevas por parte de las construcciones residenciales existentes en el litoral. Localización de las viviendas en la franja costera, densidad de las mismas, población que soportan y construcciones adjetivas que promueven. Relacionar estos elementos con los tipos de inestabilidad en las vertientes o techos de acantilados próximos a estas viviendas y con las degradaciones en el ecosistema costero.

- *Procedimiento de medición*

Fotointerpretación a partir de los vuelos más recientes posibles de la ocupación residencial costera. Se pueden establecer índices de densidad y porcentaje de superficie ocupada en la franja costera de los 200 m. Se deben realizar trabajos de ocupación evolutiva a partir de vuelos de diferentes épocas. El banco de datos sobre la identificación de problemas de inestabilidad costera y frecuentación de espacios sensibles se debe de realizar a partir de trabajo de campo en aquellas zonas elegidas como puntos de referencia para analizar el impacto de las actividades residenciales costeras en la evolución de acantilados y cuevas. Integración de los datos obtenidos en el SIG de cuevas que llevamos promoviendo en todo este apartado.

- *Tipología de los “Estados de Conservación”*

- *Existencia de polígonos de viviendas y ocupación densa de viviendas de promoción individual en la franja costera de los 200 m desde el límite del acantilado, alcanzando la primera línea de costa* (Malo): son los tramos de costa más degradados, urbanizados y con gran presión sobre el ecosistema y la estabilidad de los frentes acantilados. Suelen aparecer deslizamientos o desprendimientos, además de ser necesarias obras de protección del litoral para salvaguardar las construcciones de la erosión y el retroceso costero. En consecuencia, estas obras de protección, que suelen fosilizar las paredes del frente costero, acaban por degradar el geosistema.
- *Presencia de viviendas de residencia secundaria turística o de primera residencia en primera línea de costa, con densidades bajas pero instaladas en la franja de los 200 m desde el acantilado* (Muy Desfavorable): casa en el borde del acantilado, por lo que la estabilidad del mismo está en entredicho y puede sobrevenir en cualquier momento, con el consecuente riesgo para el ecosistema y para los bienes inmuebles y la vida de las personas.
- *Ausencia de construcciones residenciales en la primera línea de costa, con presencia de densidades bajas en la franja de los 200 m desde el límite del acantilado* (Desfavorable): no existen riesgos evidentes de inestabilidad en los acantilados debido a estas construcciones, pero el uso de la costa en estos espacios es elevado por

la cercanía de las viviendas y los riesgos potenciales siguen siendo altos.

- *Ausencia de construcciones de tipo residencial tanto en primera línea de costa como en la franja de los 200 m desde el límite del acantilado* (Favorable): no existen problemas potenciales de inestabilidad o degradación del ecosistema. Cada vez son menos los tramos que disfrutan de esta situación.

Modificación de los flujos hídricos continentales (C.4)

Este apartado se refiere a la transformación de las escorrentías naturales superficiales y subsuperficiales de manera artificial en beneficio de la habitabilidad del ser humano en la costa. Interferencias en las aguas potables para su captación, interferencia de las mismas aprovechando sus cauces naturales para enviar aguas residuales canalizadas al mar, generación de nuevos emisarios a través de acantilados bajos, contaminaciones diversas, etc.

Se trata de un fenómeno con un alcance superior al observable directamente y cuyos efectos se pueden manifestar años después de la modificación antrópica, derivando en erosiones, degradaciones de las comunidades vivas y envenenamiento de aguas costeras.

Modificación de los cursos de aguas superficiales (C.4.1)

- *Tipo de variable:* estructural/funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Uno de los principales problemas que relacionan la ocupación humana de los litorales y su interferencia en los flujos hídricos es la modificación de la escorrentía superficial, lo que nos conduce a no pocos problemas de tipo medioambiental y erosivo. El poblamiento del litoral o su ocupación para ocio o producción de bienes de consumo llevan a la “domesticación” y ordenación artificial de los flujos hídricos. Ríos, arroyos costeros o simplemente la escorrentía superficial se ven desviados, concentrados o captados para el uso de las instalaciones de residencia o esparcimiento. La consecuencia sobre acantilados y cuevas suele comportar erosión o un parón en la evolución de las formas. La concentración de

aguas pluviales para salvaguardar de humedades y encharcamientos nuevas áreas urbanizadas provoca erosiones puntuales en los acantilados que se pueden convertir, finalmente, en procesos degradativos muy intensos, o pueden dismantelar cuevas a partir de colapsos en los techos. El redireccionamiento o desvío de aguas costeras deteriora algunos hábitat y frena la evolución de las cuevas, impidiendo el desarrollo de algunas asociaciones animales y vegetales.

- *Propuesta de actuación*

Inventariado de todo tipo de causas de modificación de aguas superficiales en tramos con cuevas, analizando los efectos sobre los acantilados y las cavidades costeras. Identificación de puntos con erosión derivada de la concentración de aguas costeras y modificación del hábitat por eliminación de arroyadas en los frentes rocosos de áreas habitadas.

- *Procedimiento de medición*

Utilización de registros de actividades urbanísticas que contemplen la actuación sobre aguas superficiales; control de caudales en condiciones naturales y caudales concentrados en obras de canalización de pluviales. Localización de receptores y emisarios de aguas residuales. Inventariado de eliminación y/o canalización de pequeños y medianos cauces costeros. Correlación con cartografía SIG de puntos de inestabilidad de acantilados con las localizaciones de las interferencias en los flujos hídricos naturales costeros. Implementación en una cartografía de recursos hídricos costeros.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

Se hará en función de la tipología de modificación y de los potenciales riesgos para el geosistema costero.

- *Lugares con concentración de aguas superficiales de escorrentía y/o canalización o modificación de cursos hídricos pequeños o medianos* (Malo): posibles erosiones sobre los acantilados y cuevas que llevan a la destrucción parcial de sus hábitat o que contribuyen a la interrupción de los flujos o corredores ecológicos.
- *Lugares con generación de nuevas redes de emisarios con aguas residuales y/o utilización de cursos naturales existentes para expulsar aguas utilizadas previamente por el ser humano* (Desfavorable): problemas de contaminación en el medio

costero que pueden degradar la biota del hábitat 8330 y otros originales del litoral.

- *Lugares libres de afecciones sobre los recursos hídricos superficiales* (Favorable): los hábitat costeros se desarrollan y evolucionan de manera natural en lo que respecta a este parámetro de valoración de la estructura y la función.

Modificación de los acuíferos y de los flujos de agua subsuperficiales (C.4.2)

- *Tipo de variable:* estructural/funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Es la otra variable a tener en cuenta en la modificación de los flujos hídricos costeros. La captación en acuíferos próximos al mar y la modificación de la circulación hipodérmica y de las aguas subterráneas lleva a problemas graves en la evolución de las cuevas y del ecosistema litoral.

- *Propuesta de actuación*
Localización de las redes de drenaje naturales subterráneas y de las interferencias humanas sobre las mismas, además de sus consecuencias sobre la estabilidad de acantilados.
- *Procedimiento de medición*
Medición de caudales subterráneos, con medición de inputs/outputs hídricos en las costas karstificadas. Inventariado de acuíferos próximos a la costa y de sus modos de vaciado hacia el mar mediante el uso de testigos cromáticos y otros métodos. Inventariado de pozos y traídas de aguas litorales y medición de los caudales extraídos anualmente en los mismos, además de analizar su relación con sus manantiales fuente. Estudio de la circulación hipodérmica en los acantilados costeros con cavidades internas y del potencial de filtración de los diferentes materiales, calizos, silíceos o sedimentarios, enfrentando casos sin interceptación artificial aparente con otros claramente afectados por la actividad humana. Relacionar con la existencia de deslizamientos, desprendimientos o caídas de bloques por la saturación hídrica en el edificio rocoso.
- *Tipología de los “Estados de Conservación”*
 - *Tramos costeros con traídas locales comunitarias o con un número elevado de pozos u otro tipo de*

captación de aguas subterráneas para consumo humano (Malo): modificación de la circulación hídrica subsuperficial que puede llevar a erosiones y modificaciones en la composición biótica del litoral. Puede existir una influencia elevada en la composición hídrica de mezcla en las cavidades con ambientes anquihalinos.

- *Tramos costeros sin sistemas de captación comunitaria ni un número elevado de captaciones individuales de aguas subterráneas, pero con modificaciones evidentes de la red de drenaje subsuperficial* (Desfavorable): modificación parcial de la circulación hídrica subsuperficial y posible degradación de comunidades anquihalinas y en otras comunidades vivas litorales. Pueden sobrevenir erosiones puntuales en algunos frentes acantilados por desviación de caudales.
- *Tramos costeros sin afectación aparente de los recursos hídricos subterráneos* (Favorable): el ecosistema se mantiene en buen estado y no existen modificaciones artificiales de las circulaciones hídricas subsuperficiales, no induciendo a erosiones relacionadas con este factor.

Actividades turísticas (C.5)

Las actividades turísticas se están convirtiendo en unos de los mayores problemas para el mantenimiento de los ecosistemas litorales. Prácticas constructivas abusivas, ocupación de dunas y de bordes de acantilados, construcción de vías de alta capacidad, concentración de intensas agresiones físicas sobre vegetación y fauna en un tiempo reducido, etc., no sólo son provocadas por los patrones tradicionales de turismo de sol y playa, sino que también se desarrollan, con menor intensidad, con la existencia de turismo contemplativo o “verde”. Las cuevas son lugares muy atractivos que asumen la llegada de numerosos visitantes si el acceso no es muy difícil. Aparecen, así, los siguientes problemas o variables que influyen en el correcto estado de conservación de las cavidades costeras.

Sobre-frecuentación interna de cuevas (C.5.1)

- *Tipo de variable:* estructural/funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

La entrada de turistas, deportistas y visitantes en general, en las cuevas semisumergidas conlleva la

degradación de las mismas. Puede desaparecer la base arenosa que protege de los oleajes la cavidad, como demuestra para ambientes de acantilado con playas al pie Roig i Munar, *et. al.*, 2008 en Menorca. También se pueden provocar agresiones o degradaciones involuntarias de las comunidades animales y vegetales, como el arranque de especies comestibles, o la simple extracción para tratamientos de salud de algunas algas. Por ello, esta sobre-frecuentación se convierte en un parámetro importante en la estabilidad de las cuevas.

- *Propuesta de actuación*
Análisis de las consecuencias negativas de la frecuencia humana en las cuevas, tanto sobre la estabilidad morfológica como sobre las comunidades vivas.
- *Procedimiento de medición*
Trabajos de inventariado animal y vegetal en cuevas similares, frecuentadas y no frecuentadas, para la obtención de diferencias en la biodiversidad interna.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Cuevas frecuentadas por el turismo o las actividades deportivas* (Malo): pueden llegar a desvirtuarse profundamente tanto la morfología de la cavidad como sus comunidades vivas.
 - *Cuevas no frecuentadas por el turismo o las actividades deportivas, pero visitadas por el ser humano* (Desfavorable): puede verse alterada la estabilidad formal y de sus habitantes.
 - *Cuevas “vírgenes” o raramente visitadas* (Favorable): se desarrollan las comunidades vivas más puras y la evolución natural de la cueva está asegurada desde este punto de vista.

Sobre-frecuentación de los techos de las cuevas (C.5.2)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

No solamente afecta a las cuevas el hecho de que se pueda entrar fácilmente en ellas y sean visitadas frecuentemente por visitantes. La frecuentación de los techos de los acantilados que contienen grutas puede influir negativamente en la estabilidad geomorfológica de las mismas. En efecto, como

anotara Van Waerbeke, 1999 para los acantilados, el pisado de los techos puede llevar a modificaciones en la escorrentía superficial y subsuperficial y provocar tensiones y tracciones que llevan al desmantelamiento de las geoformas costeras. Las vibraciones y los pesos sobre los techos de las cuevas pueden acabar por hacerlas colapsar y destruir el hábitat.

- *Propuesta de actuación*
Análisis de las consecuencias negativas sobre la estabilidad morfológica de las cavidades de la frecuencia de tránsito humana en los techos de los acantilados y las cuevas.
- *Procedimiento de medición*
Se pueden realizar contabilidades sencillas con el número de personas y de vehículos que acceden a lugares que se considera que pueden influir en la estabilidad de las diferentes cuevas. El estudio puede realizarse en momentos punta de afluencia turística pero también en períodos en los que las actividades locales son el principal tránsito sobre las vertientes en cuestión.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
 - *Techos de cuevas frecuentados por el tránsito elevado de personas y/o vehículos* (Malo): puede llegar a colapsar el techo de la cavidad y desaparecer el efecto ambiental de la cueva.
 - *Techos de cuevas no frecuentados por el tránsito de personas o vehículos pero con algunos pasos ocasionales* (Desfavorable): puede verse alterada la estabilidad formal de la cueva, al menos parcialmente.
 - *Techos de cuevas inaccesibles o sin tránsito de personas o vehículos a lo largo del año* (Favorable): se favorece el mantenimiento natural del hábitat.

Construcciones (C.5.3)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Las construcciones en el litoral llevan pareja la modificación de los flujos hídricos, de las presiones sobre los frentes acantilados, o de la propia desaparición de las cuevas costeras. Existen construcciones residenciales, de tipo industrial o de pesquería tra-

dicional, que han supuesto la desaparición física de cuevas, puesto que una vez levantadas las edificaciones, la evolución del frente rocoso puso en peligro las inversiones privadas o públicas.

- *Propuesta de actuación*

Elaboración de una cartografía de riesgos inducidos por la construcción de edificios próxima al frente costero y por el levantamiento de muros defensivos en las proximidades de las cuevas. La protección de estos muros *in situ* puede provocar erosiones próximas que afecten a las cuevas. Determinación de una cartografía en zona de agrupación de cuevas que indique la franja de protección que necesitan para actividades humanas pesadas en función de la proyección continental de la cavidad. Un trabajo de este estilo fue desarrollado en Ribadeo por López Bedoya & Pérez Alberti, presentado posteriormente en López Bedoya & Pérez Alberti, 2006).

- *Procedimiento de medición*

Surge de la fotointerpretación de construcciones antrópicas y la localización y cartografiado de las cuevas costeras. Su combinación en un SIG lleva a la obtención de una cartografía de riesgos adaptada a cada sector, pudiendo establecer un *buffer* de protección, tanto de cuevas como de construcciones en el litoral.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

- *Construcciones al borde del acantilado* (Malo): afectan a los techos de las cuevas y los procesos erosivos derivados de estas construcciones o la evolución de las cuevas puede provocar un claro conflicto de usos en el litoral.
- *Construcciones en una franja de los 100 m desde el límite del acantilado* (Muy Desfavorable/ Malo): dependiendo de la proyección continental de las cuevas. Suelen influir en las cuevas pero no son definitivos para la destrucción de las mismas o para que éstas pongan en peligro las construcciones. Si las cavidades, especialmente en medio calizo, se proyectan notablemente hacia el interior se pasaría directamente a la categoría de “Malo”.
- *Litoral libre de construcciones* (Favorable): no existen interferencias ni conflictos de usos, por lo que la evolución de las cuevas no afecta a las construcciones ni éstas degradan el hábitat que nos ocupa.

Interferencias en los tránsitos sedimentarios litorales (C.6)

Se ha comentado la importancia de las coberturas sedimentarias del intermareal en la estabilidad de algunas cuevas y en su evolución lenta. La desaparición de la misma puede acelerar el proceso erosivo de las cavidades costeras y provocar su desmantelamiento. Estas dos situaciones que siguen se centran cualitativamente en esa posibilidad.

Interferencias en la red fluvial (C.6.1)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

La construcción de embalses ha llevado a la degradación de numerosos complejos sedimentarios costeros incluyendo playas al pie de acantilados que después se ven seriamente afectadas por esa desprotección sedimentaria de base (López Bedoya & Pérez Alberti, 2006). Fenómenos de este tipo han sido constatados en numerosas costas del planeta, siendo muy susceptibles algunos tramos costeros del Mediterráneo y del Cantábrico, debido a la actuación de derivas litorales muy estables y prolongadas en el tiempo que termina por no recibir los aportes sedimentarios continentales necesarios.

- *Propuesta de actuación*

Detección e identificación de las células sedimentarias costeras y de los flujos hídricos continentales que afectan a sectores de costa en los que existen agrupaciones de cuevas o cavidades señaladas. Elaboración de una lista de las interrupciones en los cursos hídricos que pueden comportar un déficit sedimentario en el exutorio marino de los mismos.

- *Procedimiento de medición*

Identificación cualitativa y cálculo de volúmenes sedimentarios retenidos mediante estudios en presas y en las células sedimentarias costeras de las que dependen las cuevas de los tramos elegidos para estudio.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

- *Existencia de presas* —u otras obras de corte de flujos sedimentarios fluviales continentales— en los grandes ríos conectados sedimentariamente

con los tramos costeros de estudio (Malo): probable aceleración de la erosión en las cuevas por desaparición de la protección arenosa que amortigua los oleajes de tiempo tormentoso.

- *Existencia de presas* —u otras obras de corte de flujos sedimentarios fluviales continentales— en algunos de los cursos fluviales de los que alimentan las células en las que se encuentran los tramos costeros de estudio (Muy Desfavorable/Desfavorable): puede reducir los aportes sedimentarios a las playas que protegen la base de los acantilados con cuevas, por lo que pueden surgir problemas erosivos que aceleren la erosión y desmantelamiento de las cuevas.
- *Cursos fluviales conectados sedimentariamente con los tramos costeros de estudio libres de presas* —u otras obras de corte de flujos sedimentarios fluviales continentales— (Favorable): permite el mantenimiento natural de los tránsitos sedimentarios y las cuevas no sufrirán riesgo de aceleración erosiva por este factor.

Interferencias físicas en la línea de costa (C.6.2)

- *Tipo de variable:* estructural.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Las interferencias en las derivas litorales y las corrientes costeras, elementos distribuidores de los sedimentos expulsados de los ríos y erosionados de los acantilados a lo largo de la costa, llevan a la destrucción de depósitos sedimentarios asentados en la costa, consistentes en complejos playa-duna o, simplemente, en arenales de pie de acantilado. Son estos últimos, principalmente, los que se ven afectados por los cortes en los tránsitos costeros derivados de la construcción de espigones, escolleras, etc. La retención de sedimentos se demuestra por el engrosamiento de los arenales anteriores a la obra portuaria en el sentido de la deriva, y el adelgazamiento de las playas posteriores a la obra en el mismo sentido.

- *Propuesta de actuación*
Detección e identificación de las células sedimentarias costeras y de los flujos sedimentarios principales que afectan a la alimentación arenosa de sectores de costa en los que existen agrupaciones de cuevas o cavidades señaladas. Elaboración de una lista de las interrupciones en el frente costero que pueden comportar un déficit sedimentario en las bases de las cuevas.

- *Procedimiento de medición*

Identificación cualitativa y cálculo de volúmenes sedimentarios retenidos mediante el análisis en las proximidades de espigones costeros y el déficit en las células sedimentarias costeras de las que dependen las cuevas de los tramos elegidos para estudio.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

- *Existencia de espigones de gran envergadura* —u otras obras portuarias de corte de flujos sedimentarios en la costa— (Malo): probable aceleración de la erosión en las cuevas por desaparición de la protección arenosa que amortigua los oleajes de tiempo tormentoso.
- *Existencia de espigones* —u otras obras portuarias de corte de flujos sedimentarios en la costa— *menores en las células sedimentarias o en las derivas de alimentación en los tramos costeros de estudio* (Desfavorable): puede reducir los aportes sedimentarios a las playas que protegen la base de los acantilados con cuevas, por lo que pueden surgir problemas erosivos que aceleren la erosión y desmantelamiento de las cuevas.
- *Células sedimentarias conectadas con los tramos de costa de estudio libres de actuaciones portuarias que corten las derivas litorales* (Favorable): permite el mantenimiento natural de los tránsitos sedimentarios y las cuevas no sufrirán riesgo de aceleración erosiva por este factor.

Contaminación (C.7)

Polución por hidrocarburos (C.7.1)

- *Tipo de variable:* funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

El efecto de los hidrocarburos en las costas y la sensibilidad de éstas a los vertidos han sido bien estudiados, por ejemplo NOAA, 1979-2002; Gundlach & Hayes, 1978; Hayes, Michel & Fichaut, 1991; López Bedoya & Pérez Alberti, 2004 y 2008; Berthe Corti & Poner, 2005; Balaguer Huguet *et al.*, 2006, aunque en el caso concreto de las cuevas no han tenido un seguimiento específico. Los hidrocarburos, son una fuente especial de contaminación, cuyos efectos negativos están profundamente analizados y no son someros. Estos residuos pueden llegar a man-

tenerse durante décadas en función del ambiente geomorfológico, impidiendo el desarrollo de las comunidades vivas y convirtiéndose en costas asfálticas que llegan a prolongarse en las costas de manera indefinida mientras la acción erosiva del mar no las deshace. Un ejemplo clave de las graves consecuencias de las mareas negras sobre los seres vivos que habitan en las costas rocosas es el de las aves. Las aves que se posan sobre el agua, como casi todas las gaviotas, corren un peligro extremo. Las aves como el Alca torda y el Frailecillo confunden las manchas de petróleo con comida y se intoxican (Heinrich & Herat, 1990). Además, el petróleo se adhiere al plumaje, atravesando el aislamiento térmico; para conservar el calor del cuerpo, se eleva el metabolismo, con lo que se consumen las reservas de grasa; el ave muere por agotamiento; mediante las tareas de limpieza el petróleo se extiende sobre las plumas o bien llega al conducto gastrointestinal (*Op. cit.*).

- *Propuesta de actuación*

Análisis de la persistencia de hidrocarburos en las cuevas de la Península Ibérica, en especial las de aquellos tramos costeros en los que se repiten los desastres de derrames de petróleo. Según WWF/Adena las costas más sensibles en función de la potencialidad de derrame son: la costa gallega; los alrededores de la localidad de Múskiz, en el País Vasco; la costa andaluza desde Huelva hasta la Punta Sabinar en Almería, especialmente la próxima a la bahía de Algeciras; del Cabo de Gata al Cabo Santa Pola; las Islas Baleares; y la costa próxima a los puertos de Castellón y Tarragona, en general desde Sagunto hasta Barcelona.

- *Procedimiento de medición*

Realización de análisis químicos de detección de hidrocarburos y físicos de localización de costas, especialmente en cuevas semisumergidas.

- *Tipología de “Estados de Conservación”*

La presencia de hidrocarburos es negativa para el desarrollo de las comunidades vivas del interior de las cuevas, por lo que se establecerá que la presencia de hidrocarburos es negativa y su ausencia positiva para los habitantes de las cuevas costeras:

- *Presencia de altos índices de contaminación por hidrocarburos* (Malo): algo fácil de entender si tenemos en cuenta que las cuevas aparecen en costas recortadas y son trampas sedimentarias,

algo que según López Bedoya & Pérez Alberti, 2004 y 2008, aumenta la sensibilidad de las costas ante un posible derrame de petróleo.

- *Presencia de contaminación por hidrocarburos* (Desfavorable): la presencia ocasional de petróleo es muy habitual en cualquier tipo de costa, derivada de los “sentinazos” y pequeños derrames de petróleos, aceites en alta mar o en puerto por parte de petroleros o cualquier tipo de barco que utiliza combustibles fósiles para desplazarse. Igualmente las actividades portuarias favorecen los derrames desde tierra, siendo las comarcas próximas a los grandes puertos las mayores perjudicadas.
- *Ausencia de contaminación por hidrocarburos* (Favorable): ello permite un correcto desarrollo de las comunidades vegetales y animales existentes en la cueva, incluyendo las bioindicadoras más sensibles a la contaminación.

Sustancias químicas (C.7.2)

- *Tipo de variable:* funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Interesa realizar una red de seguimiento de las incidencias que la contaminación costera puede tener sobre el tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas, en su calidad y en su desarrollo geográfico.

- *Propuesta de actuación*

Se trata de medir la carga de las sustancias contaminantes en la fase biótica y abiótica del hábitat, para ver qué influencias tiene en el medio vivo.

- *Procedimiento de medición*

Este seguimiento puede realizarse de dos maneras diferentes según Carballeira *et al.*, 1997: mediante biomonitorización activa, que consiste en la exposición controlada de organismos o comunidades en condiciones de campo —*in situ*— mediante técnicas de trasplante o en condiciones de laboratorio —*in vivo*— mediante técnicas de bioensayo; mediante biomonitorización pasiva, en la que los organismos o comunidades analizados son autóctonos (nativos) de la zona de estudio.

A nuestro entender, resultaría complicado desarrollar las condiciones físicas del tipo de hábitat

8330 en el laboratorio, por lo que habría que desarrollar un sistema de biomonitorización activa en el campo, realizando mediciones y obteniendo muestras de sedimento y muestras vivas de organismos para determinar el contenido en metales pesados.

Se propone, así, el uso de índices de contaminación como los presentados por Carballeira *et al.*, 1993, siguiendo a Håkanson, 1980, de los cuales se escoge para su presentación en esta ficha el del Factor de Contaminación, por su sencillez y la necesidad de que sea aplicado de manera generalizada en ámbitos muy diferentes:

a) *Factor de contaminación:*

$$FC = Ce / CeNF$$

En donde:

FC = Factor de Contaminación;

Ce = Concentración del elemento de la muestra;

CeNF = Concentración del elemento correspondiente a su Nivel de Fondo.

Así la costa se podría clasificar como:

- FC < 1, contaminación Ausente o Baja.
- FC mayor o igual que 1 y menor que 3, contaminación Moderada.
- FC mayor o igual que 3 y menor que 6, contaminación Considerable
- FC mayor o igual que 6, contaminación Muy Alta.

Además de éste, estos autores aportan otros índices más complejos y que hacen referencia a:

- El riesgo ecológico potencial en función de los diferentes tipos de material:
 - ◆ *Factor de Riesgo ecológico (FRE).*
 - ◆ *Índice de Riesgo Ecológico Potencial (IREP).*
- La bioproducción en función de la respuesta tóxica (FRT):
 - ◆ *Factor de Sensibilidad-Índice de Bioproducción.*
- La toxicidad acumulada en los materiales sedimentarios:
 - ◆ *Factor de toxicidad sedimentológica (FTS).*

• *Tipología de “Estados de conservación”*

En función de lo anotado, se propone la siguiente tipología de estados de conservación:

- *Contaminación química Ausente o Baja* (Muy favorable/Favorable): el hábitat debería de conservarse en perfecto estado y evolucionar aumentando su distribución mediante colonización de áreas en evolución.
- *Contaminación química Moderada* (Desfavorable): el hábitat puede sufrir un estancamiento evolutivo o comenzar una ligera recesión.
- *Contaminación química Considerable* (Muy desfavorable/Malo): las comunidades vivas pueden sufrir fuertes retrocesos y las más sensibles a la contaminación pueden desaparecer.
- *Contaminación química Muy Alta* (Malo/Muy Malo): se puede llegar a la desaparición de las comunidades vivas propias del hábitat apareciendo otras relacionadas con la supervivencia en medios muy contaminados o, incluso, puede desaparecer la vida de las cuevas.

Macro-residuos en la costa (C.7.3)

- *Tipo de variable:* funcional.
- *Aplicabilidad:* obligatoria.

Los macro-residuos costeros son otro tipo de contaminación habitual en las costas. Podríamos definirlos como aquellos contaminantes sólidos cuya talla oscila entre varios milímetros y varios metros (Yoni, *et al.*, 1998). Ocupan el interés de científicos y divulgadores en los países desarrollados desde hace décadas, por ejemplo, Jaubert, 1978. Se estima que la vida de los desechos plásticos se prolonga por un período que oscila entre los 4 ó 5 años y los 50 años; los residuos petroleros, que, en ocasiones, desaparecen en 1 ó 2 años, pueden llegar a superar los 10 años en algunos ambientes; incluso los metales sobreviven a la corrosión en un período de más de 5 años pero que puede llegar a 100 años (Yoni, 1998). La llegada de desperdicios procedentes del tráfico marítimo, de las ciudades y de las instalaciones turísticas, a través de las derivas litorales y las corrientes costeras, está provocando que algunos hábitat se vean afectados y sufran contaminaciones intensas. Los macro-residuos pueden afectar, principalmente, de dos maneras: por los contenidos en metales pesados y otras sustancias nocivas que puedan albergar en su interior o en los materiales que los componen;

o bien por la propia afección física por contacto a animales y plantas. Por ejemplo, se conoce la existencia de numerosas tortugas, cachalotes y delfines muertos por ingestión de plásticos de procedencias diversas, algo a lo que podría ser sensible la especie *Monachus monachus*, especie en peligro de extinción según las aportaciones a esta ficha de la Sociedad Española para la Conservación y Estudio de los Mamíferos (SECEM) para la zona sur de distribución en la Península Ibérica del tipo de hábitat 8330 Cuevas marinas sumergidas o semisumergidas. Muchas aves del litoral se encuentran también en peligro, como el cada vez más escaso *arao* o el *alcatraz*, que se internan en el mar para pescar y pueden sufrir estrangulamientos o asfixias por ingestión de plásticos. Heinrich & Herat, 1990, anotan que la basura compuesta por plásticos y latas de aluminio pueden actuar de la siguiente manera: los trozos de plástico tienen un efecto duradero sobre el metabolismo de las grasas de las aves marinas y les provocan obturaciones intestinales mortales; algunos restos de metal, como, por ejemplo, los cierres de las latas son confundidos con comida por las aves y los peces, provocándoles heridas internas.

Las cuevas son trampas sedimentarias en las que suelen acumularse numerosos desperdicios que contaminan y condicionan el desarrollo de las especies animales y vegetales.

- *Propuesta de actuación*
Realizar un análisis de la interferencia de los macro-residuos en la composición y distribución habitual de especies en el interior de las cuevas.
- *Procedimiento de medición*
Se trataría de contabilizar y tipificar los diferentes residuos sólidos en el interior de las cuevas y analizar la interferencia con el poblamiento animal y vegetal a analizar mediante inventarios biogeográficos.
- *Tipología de “Estados de Conservación”*
En función de que se demuestre lo obvio, es decir, la interferencia de los residuos en el correcto desarrollo del hábitat, se propondría la siguiente clasificación:
 - *Presencia masiva de macro-residuos sólidos, aspecto de vertedero* (Malo): la presencia de residuos es constante y aparecen en grandes cantidades que otorgan ese aspecto de vertedero

ya apuntado. Sólo pueden ser limpiadas mediante la actuación repetida del ser humano.

- *Presencia de macro-residuos* (Desfavorable): presencia habitual de residuos, aunque son dispersos, pueden desaparecer o ser reemplazados por otros y no presentan un aspecto masivo. A veces necesitan de la asistencia humana para su limpieza profunda.
- *Ausencia de macro-residuos* (Favorable): salvo algún residuo ocasional después de los temporales, que termina por eliminarse con las mareas de manera no asistida por el ser humano.

3.3.2. Protocolo para determinar el estado de conservación global de la estructura y función

Protocolo general

El protocolo general que se propondrá a continuación cuenta con varios problemas cuya solución pasa por reforzar los estudios sobre el tipo de hábitat y esperar algunas series temporales de mediciones.

A pesar de que hemos anotado una larga enumeración de posibles parámetros y factores a utilizar de cara a establecer el correcto estado de conservación de la estructura y la función de cuevas costeras, muchas de estas proposiciones están aún por comprobar y desarrollar, pues los estudios del tipo de hábitat 8330, en este sentido, han sido someros y muy escasos. Por lo tanto, será necesario generar información previa para realizar el protocolo en condiciones favorables para obtener unos resultados satisfactorios de la realidad en el campo.

Una de las maneras más interesantes de generar la información y ordenarla del modo más eficaz para la aplicación posterior sobre casos concretos es la generación de un SIG que implemente las diferentes variables tratadas en el apartado anterior. Nos parece casi una obligatoriedad el generar un almacén ordenador y exhaustivo de datos que permitan valorar el estado de conservación de las cavidades costeras españolas y el riesgo de degradación futura de las mismas en función de la ocupación humana sobre el geosistema en el que se incluyen.

Todo debe empezar por la consecución de un inventario detallado de las cuevas de las costas penin-

sulares. Este trabajo, para el que se debe hacer un profundo análisis bibliográfico y un trabajo de campo exhaustivo que comporte la consulta y la integración de todos los grupos de investigación geomorfológico costera, debe ir asociado a una ficha en la que la descripción y clasificación de las cavidades permita una primera distinción de geoformas y ambientes.

No se puede obviar el trabajo realizado por numerosos grupos espeleológicos, que han cartografiado numerosas cuevas y a los que se debe integrar en un posible grupo de vigilancia medioambiental sobre las cavidades costeras. La información cartográfica generada por estos variados grupos de deportistas y científicos debe ser tratado y almacenado en una base de datos que permita aglutinar materiales que serán básicos para el comienzo de nuevas cartografías y monitorizaciones del dinamismo de las cuevas.

Una vez realizado este inventario el paso siguiente será su adaptación a una cartografía de base en un sistema de información geográfica. Ésta será la capa básica sobre la que se relacionarán el resto.

Se pasará, posteriormente, a iniciar el monitoreo de parámetros de interés anotados en el apartado de factores, variables e índices de evaluación de la estructura y la función. Para ello se puede utilizar la red de muestreo que se propone en el apartado correspondiente, aunque esta lista está sujeta a la revisión de diversos especialistas y a la inclusión o exclusión de cavidades anotadas.

La base de datos general de los valores obtenidos en el monitoreo de factores y variables no tendrá en cuenta los subtipos ni sus variables específicas. El SIG general aportará, así, datos de todas las variables y factores, se obtengan valores interesantes o no. Es decir, que si el potencial de karstificación en rocas metamórficas silíceas es prácticamente nulo ello no es óbice para que no se trate igualmente esa variable en dicha litología.

Se aconseja que el sistema de información geográfica tenga tantas capas de información como factores, variables o índices que se propongan para la valoración del estado de conservación, es decir, las 54 propuestas en el apartado 3.3.1, agrupándolas temáticamente las 40 básicas en los 16 grupos generales. De esta manera, se podrá trabajar a nivel

de grupos de variables que permitirán obtener qué asociaciones de factores y variables presentan las mayores correlaciones y los conceptos fundamentales que explican dinámica, erosión o conservación de la estructura y la función.

Con la información completa se generarán mapas temáticos para que los gestores ambientales puedan seguir generando información y, a la vez, se protejan estas geoformas de las actividades humanas mediante una correcta ordenación del territorio y protección ambiental.

En la generación de mapas temáticos se irán realizando otro grupo de mapas y de textos anexos explicativos en los que se establecerán, por tramos costeros, los riesgos de degradación de las cuevas y el estado actual de conservación de las mismas, utilizando los calificativos aconsejados en el apartado 3.3.1. Los mapas de riesgos servirán no sólo para proteger la estructura y función del ecosistema, sino también para promover una mejora en la utilización humana del litoral y en sus prácticas de ocupación de los ecosistemas costeros.

Protocolo por subtipos

Como se ha dicho, nos parece más interesante generar un programa de tratamiento de datos, y, que permita presentar conclusiones geográficas, actuales y potenciales, que aplicar métodos y protocolos diferenciados para cada subtipo. Ello es así porque factores que se podrían intuir fundamentales de una determinada litología, pueden convertirse en factores de necesario tratamiento en otros ambientes rocosos. Así, su valoración en los diferentes ámbitos permitirá desentrañar aquellos factores que son fundamentales y universales para determinar el estado de conservación de la estructura y la función del hábitat, y aquéllos que son más coyunturales y pueden desaparecer en lugares con características físico-ambientales diferentes.

■ Por subtipo litológico

Aquí podrían existir algunos factores que adquieren especial relevancia en algunos tipos de roca y pierden valor en otros. Pondremos algunos casos a modo de ejemplo.

Un ejemplo claro es el del potencial de karstificación, fundamental en litologías cársticas, de influencia relativa en algunas rocas ígneas, y testimonial en muchos tipos metamórficos y metasedimentarios.

La importancia de los patrones de fractura en las rocas plutónicas y metamórficas es mayor que en el ámbito calcáreo o de acantilados modelados en materiales sedimentarios antiguos.

La historia geológica del sustrato varía, también, en función de la familia rocosa con la que nos encontremos. Así, los materiales metamórficos, plutónicos y básicos más antiguos de la Península no tienen la misma historia tectónica y erosiva que los materiales volcánicos recientes o las series calizas menos antiguas.

■ Por ambiente o sector geográfico

Existen variables y factores que varían intensamente su importancia en función del sector geográfico o el ambiente en el que se desarrollen. Se pueden anotar, a modo de ejemplo, los siguientes casos.

Por ejemplo, en los factores de tipo hidrológico influye notablemente el clima, por lo que la evolución de cuevas a partir de eventos lluviosos extraordinarios será mucho más intensa en el levante peninsular que los regímenes más repartidos a lo largo del año del clima oceánico noroeste.

En lo que se refiere a la ocupación humana del litoral, también se aprecia una clara diferencia por ambientes y sectores. Así, la costa mediterránea y atlántica canaria, que responde al esquema de turismo de masas de sol y playa, se verá mucho más afectada que las áreas de más reciente y menor ocupación turística, como es el noroeste peninsular o la cornisa cantábrica.

El parámetro mareal, tan importante en el atlántico, disminuye su potencial erosivo en la costa mediterránea.

La frecuencia de temporales es un factor determinante y negativo en el cantábrico y en la costa noroeste, adquiriendo menor protagonismo en el mediterráneo.

Listado general de las diferentes situaciones en las que factores, variables e índices muestran su carácter Muy favorable, Favorable, Desfavorable, Muy desfavorable o Malo para el estado de la estructura y la función del tipo de hábitat

Para obtener mayores referencias y explicaciones acerca de su elección y valoración debe consultarse el apartado 3.3.1.

■ Situaciones Muy favorables y Muy favorables/Favorables

Muy favorables

- Ausencia de ocupación humana (usos del suelo).
- Cuevas en las que aparece más del 75% de las comunidades posibles en una cavidad costera completa.
- Muy alta frecuencia de oleajes de tormenta (altura de ola significativa en más del 7% de los casos superior a 7 m), régimen anual de altura significativa de ola que supera en más del 50% de los casos los 2,5 m.
- Ambientes macromareales.
- Costa extremadamente recortada.
- Cuevas oscuras (profundidad de la cueva).
- Cuevas oscuras (intensidad lumínica).

Muy favorables/Favorables

- Contaminación química ausente o baja.
- Ausencia de especies bioinvasoras y/o exóticas.
- Cuevas con una riqueza o diversidad de especies elevada.
- Cuevas y subtramos de costa orientados a las direcciones más efectivas del oleaje en sustratos resistentes que evolucionan lentamente.
- Cuevas y subtramos costeros no orientados en las direcciones más efectivas del oleaje para el caso de rocas muy alteradas o intensamente fracturadas.

■ Situaciones favorables

- Ausencia de macrorresiduos.
- Ausencia de contaminación por hidrocarburos.
- Células sedimentarias conectadas con los tramos de costa de estudio libres de actuaciones portuarias que corten las derivas litorales.

- Cursos fluviales conectados sedimentariamente con los tramos costeros de estudio libres de presas u otras obras de corte de flujos sedimentarios fluviales continentales.
 - Litoral libre de construcciones.
 - Techos de cuevas inaccesibles o sin tránsito de personas o vehículos a lo largo del año.
 - Cuevas “vírgenes” o raramente visitadas.
 - Tramos costeros sin afectación aparente de los recursos hídricos subterráneos.
 - Lugares libres de afecciones sobre los recursos hídricos superficiales.
 - Ausencia de construcciones de tipo residencial, tanto en primera línea de costa como en la franja de los 200 m desde el límite del acantilado.
 - Vertientes y techos de acantilado sin actividad industrial ni de vertederos urbanos, ni piscifactorías próximas, ni tránsito de sustancias, vehículos o desechos relacionados con esas actividades.
 - Vertientes y techos de acantilado sin actividad industrial próxima ni tránsito de sustancias, vehículos o desechos relacionados con esas actividades.
 - Mínima (actividades tradicionales poco pesadas) o nula ocupación humana del litoral.
 - Usos de protección de la naturaleza.
 - Presencia de tipos herbáceos en los frentes acantilados y el techo de las cuevas, con vegetación propia del ecosistema litoral nativo.
 - Ausencia de bioindicadores de niveles marinos que indiquen que se están produciendo cambios sensibles en los niveles marinos en la actualidad.
 - Ausencia de especies bioindicadoras de condiciones marinas muy energéticas o de una dinámica continental intensa.
 - Presencia de especies muy sensibles a la contaminación.
 - Cuevas que contienen entre el 50% y el 75% de las comunidades posibles.
 - Ausencia de escorrentías superficiales y subsuperficiales por filtraciones más profundas o por un factor climático que induzca la inexistencia de recursos hídricos suficientes.
 - Régimen de bajas precipitaciones y alta ETP.
 - Salinidad media esperada.
 - Frecuencia de oleajes de tormenta alta (altura de ola significativa en más del 7% de los casos entre 5,5 y 7 m) pero menor que en el caso anterior y régimen anual de altura significativa de ola que en más del 50% de los casos se encuentra entre 2,5 y 2 m.
 - Ambientes mesomareales.
 - Mantenimiento de los actuales niveles marinos.
 - Costa muy recortada.
 - Rocas en dominios con una historia geológica relativamente negativa para su resistencia actual a la erosión.
 - Combinación de factores que permiten altos potenciales de disolución.
 - Rocas con grados de meteorización bajos, pero con líneas de debilidad atacables por los agentes atmosféricos y marinos.
 - Litologías sedimentarias de tipo arenisco y sedimentarias no consolidadas.
 - Litologías de origen volcánico.
 - Litologías metamórficas e ígneas resistentes con un patrón de fracturas adecuado.
 - Litologías kársticas.
 - Acantilados en materiales resistentes, con retroceso lento diferencial y selectivo.
 - Cuevas semioscuras (profundidad de la cueva).
 - Cuevas estables.
 - Tipos resistentes, con dimensiones notables y alto grado de oscuridad.
 - Cuevas semioscuras (intensidad lumínica).
 - Tramos de varios kilómetros, menos de 10 km, por ejemplo, en donde las cuevas son frecuentes y aparecen en un gran número de entrantes costeros, existiendo algún ejemplo de cuevas profundas y complejas.
 - Cuevas orientadas a las direcciones más efectivas del oleaje en subtramos costeros con otras orientaciones, para el caso de sustratos resistentes que evolucionan lentamente.
 - Cuevas no orientadas en las direcciones más efectivas del oleaje en subtramos costeros; sí orientados en esas direcciones para el caso de sustratos resistentes que evolucionan lentamente.
- **Situaciones Favorable/Desfavorable y Desfavorable/Favorable**
- Densidades de ocupación humana bajas.
 - Usos forestales tradicionales.
 - Usos agropecuarios extensivos.
 - Cuevas con una riqueza o diversidad de especies próxima a la media.
 - Escorrentías superficiales de tipo concentrado, en pocos puntos y sin caudales elevados,

concentradas en determinados momentos del año.

- Ascenso del nivel relativo del mar por fases interglaciares transgresivas o variaciones eustáticas.
- Costa recortada.
- Costa dentada.
- Situaciones intermedias.
- Patrones densos con fracturas importantes, con orientaciones en la dirección más efectiva de oleajes de viento y oleajes de fondo, y otras líneas de debilidad estructural importantes.
- Combinación de factores que permiten potenciales medios de disolución.
- Rocas con grados intermedios de meteorización.
- Acantilados estables.
- Acantilados con inestabilidad localizada y relacionada con eventos energéticos marinos o de precipitaciones extraordinarios.
- Acantilados en materiales poco resistentes, pero que evolucionan en tipo “retroceso diferencial” a partir de fracturas o contactos, y de manera gradual.
- Cuevas con algún dinamismo reciente.
- Tipos poco resistentes, con formas evolucionadas y cierto grado de oscuridad.

■ Situaciones Desfavorables

- Presencia de macrorresiduos.
- Contaminación química moderada.
- Presencia de contaminación por hidrocarburos.
- Existencia de espigones —u otras obras portuarias de corte de flujos sedimentarios en la costa— menores en las células sedimentarias o en las derivas de alimentación en los tramos costeros de estudio.
- Existencia de presas —u otras obras de corte de flujos sedimentarios fluviales continentales— en algunos de los cursos fluviales de los que alimentan las células en las que se encuentran los tramos costeros de estudio.
- Techos de cuevas no frecuentadas por el tránsito de personas o vehículos pero con algunos pasos ocasionales.
- Cuevas no frecuentadas por el turismo ni por las actividades deportivas, pero visitadas por el ser humano.
- Tramos costeros sin sistemas de captación comunitaria ni un número elevado de captacio-

nes individuales de aguas subterráneas, pero con modificaciones evidentes de la red de drenaje subsuperficial.

- Lugares con generación de nuevas redes de emisarios con aguas residuales y/o utilización de cursos naturales existentes para expulsar aguas utilizadas previamente por el ser humano.
- Ausencia de construcciones residenciales en la primera línea de costa, con presencia de densidades bajas en la franja de los 200 m desde el límite del acantilado.
- Vertientes o techos de acantilado con presencia de actividades industriales, vertederos urbanos o piscifactorías, pero sin tránsito evidente de sustancias, desechos o vehículos peligrosos derivados de dichas actividades.
- Vertientes o techos de acantilado con presencia de actividades industriales pero sin tránsito evidente de sustancias, desechos o vehículos peligrosos derivados de dichas actividades.
- Densidades de ocupación humana medias.
- Usos forestales o agropecuarios intensivos.
- Uso turístico/recreativo de baja densidad o poblamiento rural.
- Presencia de matorral leñoso en el techo de las cuevas o en el borde de los acantilados/o de especies exóticas y/o bioinvasoras con potencial bioclástico significativo.
- Presencia de bioindicadores de niveles marinos que indican que se están produciendo cambios en el nivel del mar.
- Aparición de especies bioindicadoras de condiciones marinas muy energéticas o dinámica continental elevada.
- Desaparición de especies bioindicadoras de niveles contaminantes.
- Presencia de especies bioinvasoras y/o exóticas.
- Cuevas que sólo presentan entre el 25% y el 50% de las comunidades posibles.
- Régimen altas precipitaciones y baja ETP, sin eventos extraordinarios.
- Frecuencia de oleajes de tormenta baja (altura de ola significativa en más del 7% de los casos entre 4 y 5,5 m) y régimen anual de altura significativa de ola que no supera en más del 50% de los años los 2 m.
- Ambientes micromareales.
- Descenso del nivel relativo del mar.
- Rocas en dominios con una historia geológica, tectónica y paleoclimática, convulsa y, por lo tanto, de escaso potencial para la generación de cuevas costeras.

- Rocas en dominios una historia geológica positiva que les otorga una estabilidad especial.
- Patrones poco densos con fracturas poco importantes y con orientaciones en otras direcciones a las más efectivas ante oleajes de viento y oleajes de fondo y otras escasas líneas de debilidad estructural.
- Combinación de factores que permiten potenciales bajos o nulos de disoluciones.
- Rocas sin meteorización aparente y resistencia a la abrasión muy elevada, sin líneas de debilidad atacables por los factores hídricos.
- Acantilados muy estables.
- Cuevas epigeas (profundidad de la cueva).
- Cuevas epigeas (intensidad lumínica).
- Tramos costero, de varios kilómetros, menos de 10 km, por ejemplo, en los que aparecen ejemplos de cuevas, pero son poco frecuentes y no se desarrollan ejemplos de referencia.
- Cuevas orientadas a las direcciones más efectivas del oleaje en subtramos costeros con otras orientaciones para el caso de rocas muy alteradas o intensamente fracturadas.
- Cuevas no orientadas en las direcciones más efectivas del oleaje en subtramos costeros ; sí orientados en esas direcciones para el caso de rocas muy alteradas o intensamente fracturadas.
- Presencia de monte arbolado en el techo de las cuevas o en el borde de los acantilados.
- Cuevas con una riqueza o diversidad de especies baja.
- Anomalía hiposalina.
- Anomalía hipersalina.
- Costa rectilínea.
- Rocas muy meteorizadas.
- Acantilados muy inestables.
- Acantilados en materiales muy poco resistentes o sobre rocas resistentes muy afectadas por una densa fracturación, con un retroceso generalizado e intenso.
- Tipos poco resistentes o muy resistentes sin formas evolucionadas o con formas desmanteladas.
- Cuevas y subtramos de costa orientados a las direcciones más efectivas del oleaje en el caso de rocas muy alteradas o intensamente fracturadas.
- Cuevas y subtramos costeros no orientados en las direcciones más efectivas del oleaje para el caso de sustratos resistentes que evolucionan lentamente.

■ Situaciones Muy desfavorables y Malas

Situaciones Muy desfavorables

- Presencia de viviendas de residencia secundaria turística o de primera residencia en primera línea de costa, con densidades bajas pero instaladas en la franja de los 200 m desde el acantilado.
- Notables y abundantes escorrentías de tipo concentrado o laminar, superficiales y subsuperficiales.
- Régimen de altas o bajas precipitaciones concentradas en eventos extraordinarios y alta ETP.

Situaciones Muy desfavorables/Malas

- Contaminación química considerable.
- Construcciones en una franja de los 100 m desde el límite del acantilado.
- Densidades de ocupación humana altas.

Situaciones Malas

- Presencia masiva de macro-residuos sólidos, aspecto de vertedero.
- Existencia de presas —u otras obras de corte de flujos sedimentarios fluviales continentales— en los grandes ríos conectados sedimentariamente con los tramos costeros de estuario.
- Techos de cuevas frecuentados por el tránsito elevado de persona y/o vehículos.
- Cuevas frecuentadas por el turismo o las actividades deportivas.
- Tramos costeros con traídas locales comunitarias o con un número elevado de pozos u otro tipo de captación de aguas subterráneas para consumo humano.
- Lugares con concentración de aguas superficiales de escorrentía y/o canalización o modificación de cursos hídricos pequeños o medianos.
- Existencia de polígonos de viviendas u ocupación densa de viviendas de promoción individual en la franja costera de los 200 m desde el límite del acantilado, alcanzando la primera línea de costa.
- Vertientes o techos de acantilado con ocupación industrial, vertederos urbanos o piscifac-

torías, y de tránsito de sustancias, desechos o vehículos peligrosos derivados de dicha actividad.

- Vertientes o techos de acantilado con ocupación industrial y tránsito de sustancias, desechos o vehículos peligrosos derivados de dicha actividad.
- Usos urbanos y residenciales densos.
- Uso turístico/recreativo masivo.
- Usos industriales.
- Presencia de monte arbolado con eucaliptos y géneros de igual impacto bioclástico en el techo de las cuevas o en el borde de los acantilados.
- Dominio de especies bioinvasoras y/o exóticas.
- Cuevas que no alcanzan el 25% de las comunidades posibles en las cuevas costeras completas del litoral de esa región natural o nivel inferior.
- Cuevas externas (profundidad de la cueva).
- Paredes exteriores (profundidad de la cueva).
- Cuevas con alta dinámica reciente.
- Cuevas externas (intensidad lumínica).
- Paredes exteriores (intensidad lumínica).
- Tramos costeros de varios kilómetros, menos de 10 km, por ejemplo, en los que no aparece ningún ejemplo interesante de cuevas y sólo se desarrollan tipos como viseras, entalles basales o repisas por el desplome de voladizos.

Situaciones Muy malas/Malas

- Contaminación química muy alta.
- Presencia de altos índices de contaminación por hidrocarburos.
- Existencia de espigones de gran envergadura —u otras obras portuarias de corte de flujos sedimentarios en la costa—.
- Construcciones al borde del acantilado.

3.3.3. Protocolo para establecer un sistema de vigilancia global del estado de conservación de la estructura y función

Red de muestreo

La red de muestreo debe representar la multifactorialidad en los distintos ambientes o áreas geográficas diferenciadas con acantilados rocosos y cuevas costeras. Deberá escogerse una red que incluya ejemplos de diferentes tipologías genéticas, litoló-

gicas y formales que estén sujetas a climas y regímenes de parámetros oceanográficos diferenciados. Igualmente, es interesante que se sumen variadas situaciones ante el factor antrópico, pues es esta variable la que muestra una mayor incidencia en la salud de las costas rocosas y las tasas de retroceso asociadas.

Nos parece interesante el incluir, en esta red de muestreo, cuevas en aquellos sectores acantilados ya estudiados o analizados en su retroceso y que se anotan a continuación junto con otras localidades que se comportan como hitos de este tipo de hábitat:

Provincia de Las Palmas de Gran Canaria

- Los Jameos del Agua, Lanzarote.
- Cueva de Lobos, Las Palmas presentada por Garay Martín & Robledo Ardila, 2008.

Provincia de Tenerife

- Cueva Bonita, Tijarafe, La Palma.
- Cueva Marina de San Juan, Santa Cruz de Tenerife, presentada por Garay Martín & Robledo Ardila, 2008.

Provincia de las Islas Baleares

■ *Sector Menorca*

- Cova de na Megaré, Ciutadella, con ámbito anquihalino.
- Cova de s'Aigo, Ciutadella, con ámbito anquihalino.
- Cova des Màrmol, Ciutadella, con ámbito anquihalino.
- Cova de sa Tauleta, Ciutadella, con ámbito anquihalino.
- Cova Polida de Fornells, Es Mercadal, con ámbito anquihalino.
- Cova de ses Figueres, Sant Lluís, con ámbito anquihalino.

■ *Sector Mallorca*

- Cova Negra, Pollença, Mallorca, estudiada por Gracia *et al.*, 2001.
- Cova des Gànguil, Felanitx, Mallorca, estudiada por Gracia *et al.*, 2001.
- Cova Gran, Felanitx, Mallorca, estudiada por Gracia *et al.*, 2001.

- Cova de ses Pedreres, Manacor, Mallorca, estudiada por Gracia *et al.*, 2001.
- Cova dets Ases, Felanitx, Mallorca, estudiada por Gracia *et al.*, 2001.
- Cova des Comellar des Gatells, Felanitx, Mallorca, estudiada por Gracia *et al.*, 2001.
- Cova de Na Mitjana, Capdepera, Mallorca, estudiada por Ginés *et al.*, 2007.
- Cova Genovesa, Manacor, Mallorca, estudiada por Ginés *et al.*, 2007.
- Cova de sa Bassa Blanca, para la que presenta paleoniveles marinos For, 2005.

■ Sector Cabrera

- Cova Blava, Cabrera; Estudiada por Úriz *et al.*, 1993.
- Cova des Calamars, Cabrera; Estudiada por Úriz *et al.*, 1993.

Provincia de Gerona

- Coves del Bisbe y d'en Gispert, Begur, anotada por Vilaplana, 1987.
- Cova de ses Ànimes, Tamariu.
- Cueva del Cap de Sant Sebastià.
- Cova Esclafada, Tossa de Mar.
- Cova des Bergantí, Tossa de Mar.
- Cova de sa Gatera, La Pola Giverola, Tossa de Mar.
- Cova de Coca d'en Cateura, La Pola Giverola, Tossa de Mar.
- Cova des Tabac, La Pola Giverola, Tossa de Mar.
- Cova des Llevador, Llorell, Tossa de Mar.
- Cova de Massen Jaime, Llorell, Tossa de Mar.

Provincia de Barcelona

- Cova del Congre, Vallcarca, El Garraf.

Provincia de Tarragona

Provincia de Castellón

Provincia de Valencia

Provincia de Alicante

- Cova del Moraig, Benitatxel, estudiada y cartografiada por Plá Salvador & Pavía Alemany, 2006.

- Cova del Llop Mari, El Poble Espanyol, El Campillo.
- Cuevas de la Serra Gelada, Benidorm.
- Cavidad de la Plana de Sant Jeroni, presentada por La Roca, Sanjaume & Gil, 2005.
- Cuevas del Cap de Sant Antoni, presentadas por La Roca, Sanjaume & Gil, 2005.
- La Cova Tallada, Xabia, estudiada y cartografiada por Plá Salvador & Pavía Alemany, 2004.
- Cuevas de la Cala de la Punta Plana, presentadas por La Roca, Sanjaume & Gil, 2005.
- Arcos de Cap Negre, presentados por La Roca, Sanjaume & Gil, 2005.
- Cuevas del faro del Cap de la Nau, presentadas por La Roca, Sanjaume & Gil, 2005.
- Cova de la Cendra, Moraira, estudiada por Plá Salvador & Pavía Alemany, 2005.
- Cova de les Rates, El Portet de Moraira, estudiada por Plá Salvador & Pavía Alemany, 2005.
- Cova de l'Aigua Dols, Denia, estudiada por Plá Salvador, 2002.

Provincia de Murcia

- Cueva de las Palomas, Águilas.

Provincia de Almería

- Cueva del Francés, Los Escollos.
- Cueva del Frío, Los Escollos.
- La Catedral de Villaricos, Villaricos, Cuevas del Almanzora.

Provincia de Granada

- Cueva de los Gigantes, Almuñécar.
- Cueva de los Genoveses, Almuñécar.

Provincia de Málaga

Provincia de Cádiz

Provincia de Huelva

Provincia de Pontevedra

- Furna Jerónimo I, Baredo, Baiona; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Jerónimo II, Baredo, Baiona; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Escodelo, Illa de Monte Agudo, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.

- Furna Laxe do Peito I, Illa de Monte Agudo, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Laxe do Peito II, Illa de Monte Agudo, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna de Chancelos, Illa de Monte Agudo, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna das Lontras, Illa de Monte Agudo, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Buraco do Trapo, Illa do Faro, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Cova do Seixo, Illa do Faro, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Cova do Cadáver, Illa do Faro, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Desesperada, Illa de San Martiño, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Pereira, Illa de San Martiño, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna da Lameira, Illa de San Martiño, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Suaponte, Illa de San Martiño, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna da Xesteira, Illa de San Martiño, Illas Cíes, Vigo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Monteferro I, Panxón, Nigrán; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Monteferro II, Panxón, Nigrán; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Monteferro III, Panxón, Nigrán; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Monteferro IV, Panxón, Nigrán; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Penedo, San Martiño, Bueu; estudiada por Diz Dios y Ríos Basadre, 2001.
- Cova do Cano/"La Furna", Hío, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Cova do Carro, Hío, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Basurdiños I, Hío, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna basurdiños II, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Home I, Hío, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Home II, Hío, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Home III, Hío, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Home IV, Hío, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Cova Lago, Hío, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna de Santa Marta, Darbo, Cangas do Morrazo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Centulo, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Xubenco, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna do Hornejo da Regata, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna de Manueleche, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Cova do Lobo, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Pendente Ancha, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Galilleiro, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna O Cornecho, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Fontenova I, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Fontenova II, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Bastián de Val, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furnas de Estrepeiral (E1, E2, E3), Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Cano das Bombas (Bombas I), Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna das Bombas II, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Caniveliñas I, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna caniveliñas II, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Caniveliñas III, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Buraco do Inferno, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Coviñas, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.

- Furna Coliño, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna dos Arcos, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Fedorento, Illa de Ons, Bueu; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Corveiro, Noalla, Sanxenxo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furnas Xemelgas, Noalla, Sanxenxo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna de Pociñas, Noalla, Sanxenxo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna de Bascuas, Noalla, Sanxenxo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.
- Furna Elmo I, Adina, Sanxenxo; estudiada por Diz Dios & Ríos Basadre, 2001.

Provincia de A Coruña

- Furnas de San Pedro, A Coruña; cartografiadas por GES Ártabros, febrero de 1984.

Para las cavidades costeras que siguen a continuación en esta provincia, en concreto en los municipios de Carballo y A Laracha, se recomienda observar la figura 1.1, para conocer su localización exacta:

- Furna Furada, municipio Carballo.
- A Furna, municipio de Carballo.
- Furna do Rego do Sertañó, municipio de A Laracha.
- Furna do Sertañó-A Furna (2 cavidades muy próximas), municipio de A Laracha.
- A Furna (2), municipio de Carballo.
- Furna Furada do Barreiro, municipio de A Laracha.
- Furna da Cabana, municipio de A Laracha.
- Furna do Corvo, municipio de A Laracha.
- A Furna do Conde, municipio de A Laracha.
- Furna do Refoxo, O Refoxo, municipio de A Laracha.

Provincia de Lugo

- Furnas de Area Longa, O Viñedo; cartografiada por GES Ártabros, julio 1982.
- Furnas de Augas santas, Ribadeo.
- Bufadeiro e furnas de Rinlo, Ribadeo.
- Furnas y arcos de la Praia de Os Castros, Ribadeo.

Provincia de Oviedo

- Bufones de Arenilas, Puertas de Vidiago, Llanes.
- Bufones de Villanueva, Cueva del Mar.

Provincia de Santander

- El Bufón de Santiuste y Cueva de Cobijero, Buelna, Llanes.

Provincia de Vizcaya

Provincia de Guipúzcoa

3.4. EVALUACIÓN Y PERSPECTIVAS DE FUTURO

El estudio de las cuevas en costas rocosas, apoyadas, pues, en acantilados, es una iniciativa de notable interés científico y comprobada aplicación territorial —ver López Bedoya & Pérez Alberti en Pérez Alberti *et al.* (eds.), 2007—. No en vano, el 80% de las costas del Planeta están compuestas por tramos acantilados (Emery & Kuhn, 1982) y en la propia Península Ibérica la cifra puede ser superior (Flor, 2005). Todo estudio de ordenación del litoral tiene que basarse en el estudio de la dinámica de las costas rocosas y en los frentes acantilados de las mismas, donde aparecen las cuevas marinas, indicadores de erosión y cambios en el nivel marino. Por otro lado, los acantilados y sus cuevas son, por definición, formas dinámicas, lo que condiciona sobremanera las actividades humanas desarrolladas en sus límites físicos. Una tercera proposición que versa más sobre las costas en general es su tradición en el soporte de sobrecargas derivadas de la habitación humana y el desarrollo de todo tipo de actividades derivadas de ellas. La costa, en su función de término y fin de transporte, de contacto con el inmenso mundo marino, de abastecimiento alimenticio y de regulación atmosférica, de propuestas turísticas, etc., ha atesorado una acumulación de intereses socioeconómicos tal que es difícil regular su uso sin entrar en controversia con los agentes económicos, sociales y políticos de las comunidades próximas. Estos tres conceptos o variables por sí solas justifican la preocupación de este trabajo por los factores que controlan la dinámica de los tramos costeros rocosos y las cuevas que albergan los mismos.



4. RECOMENDACIONES PARA LA CONSERVACIÓN

Nuestra sociedad, en su intención por controlar y transformar en lugares de ocio los sistemas naturales, pretende comprender los acantilados y sus geoformas compositivas como recursos utilizables sin restricciones, sin tener en cuenta su posible degradación futura. Esto lleva a una falta de perspectiva sobre el estado de salud de los mismos a largo plazo, por lo que es muy habitual una ocupación indebida de espacios costeros dinámicos. La evolución de acantilados y cuevas a partir de desprendimientos suele tener momentos críticos de mayor actividad, que ocurren de manera cíclica en función de fases de eventos extraordinarios de índole meteorológica o marina. Así que el concepto de período de retorno en la evolución de acantilados pasa a ser un factor básico en la ordenación del territorio en espacios costeros dominados por acantilados, y su valoración para cada tramo de costa debe ser uno de los objetivos a perseguir por los estudiosos de la costa.

Es necesario, pues, que se modere la visión tecnista y economicista de que todo se puede conservar, al mismo tiempo que utilizar, mediante técnicas y métodos de protección y estabilización del litoral. Si comprendemos que las cuevas son elementos en constante evolución, formas erosivas cuyo desarrollo finaliza en la propia destrucción formal, al mismo tiempo que se puede generar o no una nueva cavidad en las proximidades, comprenderemos que es imposible estabilizar con éxito duradero y que lo que realmente se lleva a cabo es un despilfarro de dinero. Pero, por la misma razón, estamos ante formas de una gran fragilidad cuya capacidad de absorción de actividades humanas diversas es muy limitada. Por ello, el ser humano debe mantener a una cierta distancia las actividades económicas y las vías de comunicación, y disfrutar de estos espacios de una manera racional y comedida. La pérdida de patrimonio geomorfológico está en juego. Pensemos por unos momentos en unos arcos rocosos o unas cuevas muy evolucionadas en acantilados de remate plano. La sola frecuentación humana del techo de los mismos puede acelerar su destrucción y adelantarla en décadas o

siglos. En este sentido, asimilando la existencia de cuevas a la estabilidad de los acantilados en las que se circunscriben, tenemos los ejemplos aportados por Pinot, 1998 y Van Waerbeke, 1999 para la costa bretona, en los que la frecuentación del remate de los acantilados genera una aceleración en la erosión y retroceso de los mismos.

Pero las influencias humanas en la estabilidad de las cuevas no son sólo directas, como ocurre cuando pensamos en emisarios marinos a través de los frentes rocosos, construcciones sobre los acantilados, frecuentación humana en general, vías de comunicación, canteras, etc. También existe un complejo sistema de influencias indirectas que acaban por acelerar la erosión de las cavidades litorales. Estos factores son variados y similares a los que afectan a la desaparición o degradación de costas arenosas. Estamos hablando, por ejemplo, de la sustracción de volúmenes de arena del intermareal para usos múltiples, con lo que se desprotegen los frentes acantilados con cuevas cuya base es arenosa; o de la retención de sedimentos en embalses fluviales, que crea un déficit sedimentario intermareal y supramareal que acaba por afectar a las costas rocosas; o la simple desviación de las corrientes litorales y de los patrones de oleaje por la construcción de espigones y barreras portuarias en general, etc. Por ejemplo, algunos arcos rocosos, túneles, cuevas y bufaderos, como los existentes en la costa lucense española, tienen una base arenosa cuya desaparición podría acelerar la desaparición de estas formas que, además de albergar formaciones geomorfológicas únicas, con una biota de gran interés, constituyen un reclamo turístico de primer orden.

Todos estos factores deben ser fruto de valoración y discusión a la hora de establecer planes de protección de las geoformas que estamos comentando.

Se puede aportar, en consecuencia, un decálogo de buenas prácticas, que se referencia a continuación, y que no difiere demasiado del anotado para las costas rocosas en general y los acantilados en particu-

lar, al formar las cuevas parte de esa realidad ecosistémica:

1. Ante cualquier actuación a realizar en un acantilado con cavidades naturales, deberá ser obligado realizar un estudio geomorfológico y biogeográfico profundo, acompañado de un análisis concreto de capacidad de carga para la citada actividad. Se insta, no sólo a realizar este procedimiento para actuaciones futuras, sino también para revisar actuaciones realizadas en el pasado en puntos de notable inestabilidad para establecer correcciones y adquirir experiencia e información en el ordenamiento costero de los tramos acantilados.
2. Respeto por la normativa urbanística costera, aplicable por la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, y su Reglamento General, que establece una distancia de cien metros desde la línea de bajamar como zona de dominio público. Además de respetar esta legislación, sería necesario evitar la construcción en los sectores acantilados en una distancia a determinar, en función de las características de cada tipo de acantilados en los que se instalan cuevas. Es necesario cuidar y controlar la realización de obras en los frentes para la estabilización de los mismos. En este sentido, Pinot, 1998 anota que el factor esencial en la aceleración de la erosión de los acantilados es el urbanismo litoral, en especial la transformación de los flujos hídricos continentales, bien por impermeabilización, bien por generación de una red de captaciones hídricas y emisarios con dirección al mar.
3. Conservar las playas de pie de acantilados como medida para la conservación futura de las propias vertientes costeras. La donación de sedimentos por parte de los acantilados a las playas adosadas a su pie se ve incrementada con la desaparición de éstas, pues el ataque marino se hace más enérgico y efectivo y el acantilado tiende a compensar esa falta con un retroceso más rápido. No interesa fosilizar los frentes acantilados ante el aumento de la dinámica de la vertiente costera, por ser perjudicial para la estabilidad del geosistema.
4. Establecer planes especiales morfosedimentarios e hidrodinámicos de los sectores con sistemas de cuevas frágiles y dinámicas. No sólo se busca el control de actividades humanas en la parte alta de los acantilados, sino tener en cuenta también los problemas derivados de la construcción de puertos comerciales y deportivos en los últimos años, provenientes de un análisis somero y erróneo de corrientes y oleajes.
5. Anular la posibilidad de ajardinamientos en las proximidades de acantilados, para mantener la vegetación natural de los mismos. La introducción de especies foráneas, trepadoras, ruderales o de jardín, está produciendo graves problemas de bioinvasiones que ocupan los espacios de la vegetación autóctona y no cumplen la misma función ecosistémica, favoreciendo incluso la aceleración de la erosión por parte de las aguas continentales y marinas. Uno de los principales espacios invadidos son los hábitat costeros próximos a zonas urbanizadas, sobre todo por parte de plantas ornamentales (Pino *et al.*, 2008).
6. Reconocer, analizar y cartografiar las cuevas costeras y sus sistemas de conexión hidrológica, para establecer franjas de protección a las mismas e impedir el paso indiscriminado de turistas. Para esta situación, es necesario contar con grupos espeleológicos especializados que puedan obtener resultados eficientes en la confección de dichos materiales.
7. Realizar un programa educativo para el geosistema acantilado costero similar a las campañas que se están realizando para los complejos dunares. Los acantilados son medios menos comprendidos, al no participar directamente de los usos turísticos masivos, pero su interrelación con los mismos es elevada.



5. INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

5.1. BIENES Y SERVICIOS

Las cuevas marinas generan diversos y variados beneficios a la sociedad. Además de su valor en la conservación de la biodiversidad, al poder albergar tanto fauna troglóbica y troglófila como marina, es necesario apuntar su importancia como registro paleoambiental, representando un importante indicador del cambio climático y de las variaciones relativas del nivel del mar. No hay que olvidar, igualmente, su valor como recurso estético-turístico y deportivo, cuya disponibilidad futura depende, en gran medida, del conocimiento y respeto al hábitat.

Es cierto que, a nivel ecosistémico, las cuevas constituyen ambiente, para seres muy especializados, de escasa distribución territorial y comportamiento endémico. La falta de luz, la influencia del clima marino, la escasez de recursos edáficos, etc., crean un ambiente muy especial en el que se concentra una biodiversidad irrepetible y, por ello, se constituyen en un bien patrimonial que debe obtener altas cotas de protección.

Otro de los valores que reúnen las cuevas, en especial aquéllas que se modelan sobre depósitos antiguos, es el de constituir importantes geoformas para reconstruir las variaciones en el nivel relativo del mar, cuando menos desde el último período glaciario. Ello es más marcado, incluso, en el caso de las cuevas modeladas parcial o totalmente en depósitos antiguos. En efecto, existen secuencias deposicionales en depósitos costeros que registran cambios paleoambientales, en especial aquéllos ocurridos desde el interglaciario *eemiense*. Así, en muchas cuevas litorales aparecen niveles de playas antiguas, dunas fósiles, depósitos periglaciares e incluso glaciares, restos fósiles, etc. Ello debe llevar a entender que los hábitat son fuente de información y calidad de vida para la sociedad.

La serie de evolución geomorfológica asociada a las cuevas costeras resulta un elemento de notable atractivo para la sociedad y el turismo. La espectacularidad de formas, el misterio que constituye su

génesis y su evolución, y algunos elementos de carácter etnográfico y de tradición oral, son reclamo para turistas y lugareños. Su conservación y regulación de usos es tan necesaria como obligatoria.

Las cuevas anquihalinas contienen un interesante registro de información sobre la historia del planeta, atesorado por sus especies relictas, vicariantes y endémicas, cuya especiación y distribución se debe a la llamada vicarianza por deriva continental: los continentes se desplazan, han cambiado de forma y composición a lo largo de la historia del planeta; se pueden considerar, en realidad, como grandes islas flotantes que en su deriva arrastran la flora y la fauna. Expresado de otra manera, la vicarianza es un proceso mediante el cual una especie queda dividida en subpoblaciones aisladas (Picornell, 2004).

5.2. LÍNEAS PRIORITARIAS DE INVESTIGACIÓN

Para la ordenación del territorio, son interesantes la investigación y el conocimiento científico en la medida en que se constituyen en el fundamento explicativo de las formas y procesos geomorfológicos. Pero es mayor la importancia de su contextualización multiescalar, espacio-temporal y de su dinámica cíclica o progresiva y su causa natural o inducida por el ser humano, pues son éstos los indicadores de la intensidad y frecuencia de los cambios físicos que limitan y ponen en peligro el desarrollo de las actividades antrópicas sobre el espacio. En resumen, interesa saber cuándo y cuánto evolucionan las geoformas, y si su estabilidad deriva de la propia actividad humana o es consecuencia de procesos naturales propios del geosistema.

El estudio de los acantilados y su dinámica debe ser abordado desde una perspectiva interdisciplinar (por ejemplo, Terzaghi, 1950; Skempton, 1953; Hutchinson, 1988; Brundsen, 1988, 1993; Brundsen & Lee, 2004). El banco de datos necesario para abordar su análisis debe alcanzar caracteres oceanográficos, litológicos, estructurales, paleogeográficos,

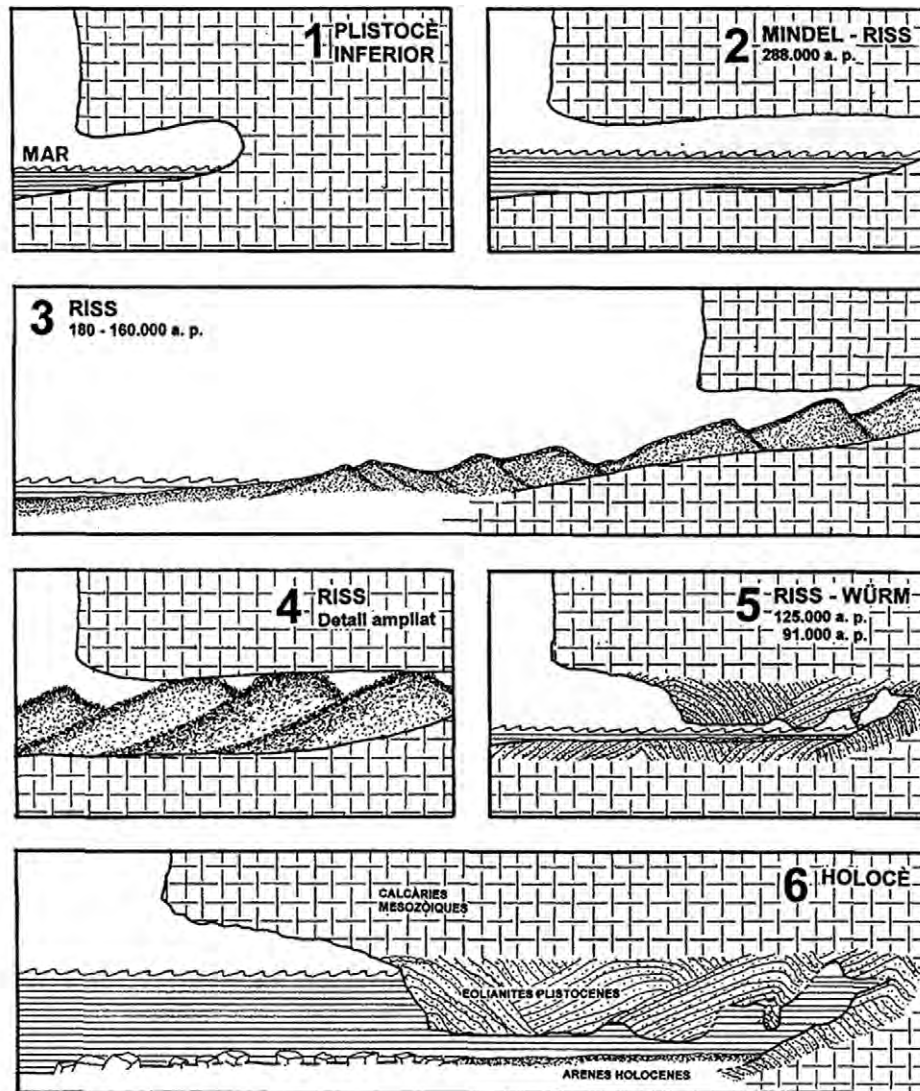


Fig. 11. Evolució geomorfològica de la cova Negra (cap de Catalunya, Pollença): 1) Cova d'abrasió marina de petites dimensions; 2) Cova d'abrasió de gran llargària, aprofitant fractures de la roca, formada tal vegada al llarg de diverses fases d'erosió del Quaternari; 3) Regressió marina i formació d'extenses platges, amb formacions dunars terminals que s'introdueixen dins l'àmplia cavitat; 4) Rebliment quasi total de la cova per les eolianites plistocèniques; 5) Nova transgressió marina i reactivació de l'erosió. La major debilitat de les eolianites fa que la cavitat s'obri seguint preferentment aquests materials; 6) Segueix pujant el nivell marí, adquirint la configuració actual.

Fig. 11. Geomorphological evolution of the Cova Negra (Cap de Catalunya, Pollença): Small marine abrasion cave. 2) Very long abrasion cave, taking advantages of rock fractures, possibly formed in various phases during the Quaternary. 3) Marine regression and formation of extensive beaches, and formation of terminal dunes that have penetrated into a large cave. 4) Almost complete infilling of a cave by Pleistocene eolianites. 5) New marine transgression and re-activation of the erosion. The greater weakness of the eolianites means that the cave has enlarged generally in this material. 6) Following sea-level rise, this is the current layout of the cave.

Figura 5.1

Ejemplificación de la existencia de depósitos con interés paleoambiental en las cuevas costeras. Gràcia et al., 2001, en Pons & Guijarro. "El canvi climàtic: pasta, present i futur", p. 111.

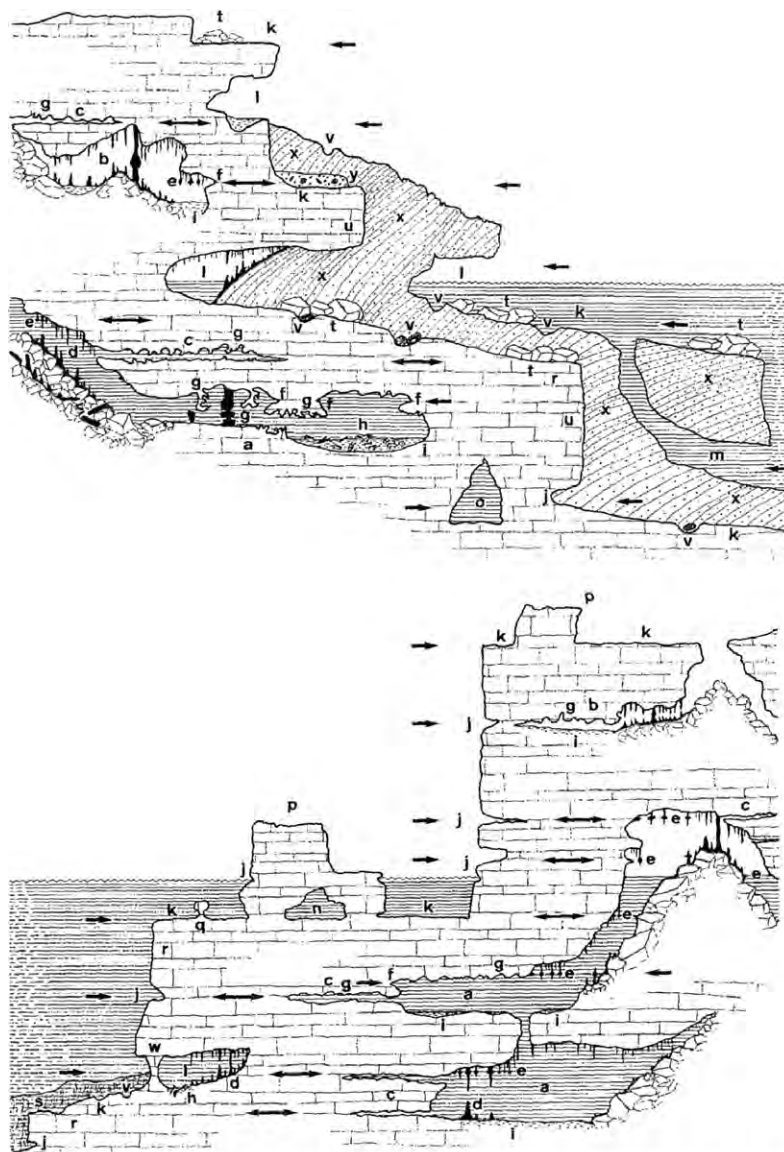


Fig. 2. Recopilació idealitzada de les principals evidències geomorfològiques dels nivells marins: a) Cavitats freàtiques inundades; b) Cavitats freàtiques fòssils; c) Galeries iniciadores; d) Espeleotemes submergits; e) Espeleotemes indicadors de paleonivells freàtics; f) Regates de corrosió; g) Morfolgies de corrosió; h) Presència de fòssils quaternaris dins les cavitats inundades; i) Presència de varves; j) viseres; k) Plataformes; l) Coves d'abrasió marina; m) Bufadors; n) Arcs; o) Túnel; p) Farallons; q) Pedestals; r) Caps rocosos; s) Canyons submarins; t) Camps de blocs; u) Paleopenya-segats; v) Marmites de gegant; w) Columnes d'abrasió; x) Dunes fòssils adossades; y) Jaciments fòssilífers. Les fletxes indiquen antics nivells de la mar.

Fig. 2. Idealised collection of the main geomorphologic evidence for sea-level changes: a) Flooded phreatic caves. b) Fossil phreatic caves. c) Geomorphologic stable galleries. d) Submerged speleothems. e) Phreatic paleolevel indicators on speleothems. f) Water-level notch marks. g) Corrosion morphologies. h) Presence of Quaternary fossils in non-inundated caves. i) Presence of varves. j) Notches. k) Platforms. l) Marine abrasion caves. m) Blowholes. n) Arches. o) Tunnels. p) Rocky peak. q) Pedestal. r) Headland. s) Submarine canyons. t) Fields of loose blocks. u) Paleocliffs. w) Potholes. w) Abrasion columns. x) Fossil dune ramps. y) Sites with fossils. The arrows show previous sea-levels.

Figura 5.2

Indicadores de cambios climáticos en el interior de las costas rocosas con cuevas marinas sumergidas y semisumergidas en litologías kársticas.

Extraído de Gracia *et al.*: Evidències geomorfològiques dels canvis del nivell marí. En Pons; Guijarro, 2001: *El Canvi Climàtic*, pp 94 y 95.

geomorfológicos, biogeográficos, de usos del suelo, de interferencias antrópicas y de las conexiones entre los sistemas implicados en su dinámica. Este complicado sistema informativo resolverá un conocimiento de base que puede servir para predecir su evolución y para adoptar las medidas necesarias para minimizar su impacto en las actividades humanas, a partir de la comprensión de su funcionamiento. En este sentido, se entiende que las cuevas son georformas incluidas en los frentes acantilados rocosos que merecen mención especial por su originalidad y deben ser objeto de estudios de detalle para comprender su dinámica y su evolución.

En base a ello, se proponen varias líneas prioritarias de investigación:

- Cartografiado tridimensional y monitorización de cuevas de todos los tipos presentados para comprender la dinámica hidráulica y geomorfológica que las genera y las hace evolucionar.
- Estudios de los indicadores paleoambientales incluidos en las cuevas costeras, como los elementos que indican cambios relativos en el nivel del mar, o evoluciones en el paleoclima cuaternario.
- Estudio de bioindicadores en la dinámica costera. Análisis de especies vegetales y animales que aporten indicadores sobre el estado de salud y el dinamismo de las cuevas rocosas. Estos estudios pueden tener especial importancia para establecer índices de retroceso de acantilados, proceso cuyo conocimiento se hace imprescindible para la sociedad humana en pleno episodio transgresivo marino y de ocupación indebida del litoral.
- Estudio físico de la influencia de las frecuencias de resonancia e impacto físico en cavidades costeras, por su importancia para el conocimiento del peso del impacto hidráulico de las olas en la evolución de los acantilados.
- Amplias investigaciones en el conocimiento de la flora y la fauna de este hábitat, cuya originalidad biótica radica en la combinación de los ambientes marino, troglobio y troglófilo.
- Por último, se quiere anotar la importancia de apoyar los estudios sobre ambientes anquihalinos que, a pesar del desarrollo de estudios y proyectos recientes, como el de Damiá Jaume (Picornell, 2004), sigue siendo escasamente conocido y encierra notables valores científicos, por ser área de desarrollo de comunidades como numerosas especies endémicas, relictas y vicariantes, adjetivos que, unidos, plantean uno de los tipos de hábitat más originales del planeta.



6. BIBLIOGRAFÍA CIENTÍFICA DE REFERENCIA

- BRAVO, T., 1964. *El volcán y el malpaís de la Corona. La Cueva de los Verdes y los Jameos*. Arrecife: Publicaciones del Cabildo Insular de Lanzarote.
- CALVÍN CALVO, J. C., 1995. *El ecosistema marino mediterráneo: guía de su flora y fauna*. Murcia: autoedición. 797 p.
- CARBALLEIRA, A., CARRAL, E., PUENTE, X. M. & VILLARES, R., 1997. *Estado de conservación de la costa de Galicia. Nutrientes y metales pesados en sedimentos y organismos intermareales*. Santiago de Compostela: USC/Xunta de Galicia. 107 p.
- COMISIÓN EUROPEA, 2007. *Interpretation Manual of European Union Habitats. Natura 2000*. EUR 27. DG. Environment, Nature and Biodiversity, July 2007. 142 p.
- DIZ DIOS, J. H. & RÍOS BASADRE, R., 2001. Catálogo de furnas do litoral pontevedrés. *Furada* 10: 4-49.
- FERNÁNDEZ-PALACIOS, J. M.^a & MARTÍN ESQUIVEL, J. L., 2001. *Naturaleza de las Islas Canarias. Ecología y conservación*. Santa Cruz de Tenerife: Turquesa. 474 p.
- FERRERAS CHASCO, C., 2000. Factores mesológicos de la vegetación. En: Meaza, G. (dir.). *Metodología y práctica de la Biogeografía*. Capítulo 1, Colección La Estrella Polar. Ediciones del Serbal n.º 22. pp 19-76. 392 p.
- FORNÓS, J. J., GINÉS, J. & GÓMEZ-PUJOL, L. (eds.), 2007. *Geomorfología litoral. Mogjorn y Llevant de Mallorca*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears n.º 15. Palma de Mallorca: UIB-SHNB-IMEDEA. 220 p.
- FORNÓS ASTÓ, J. J., BALAGUER HUGUET, P. & GÓMEZ-PUJOL, L., 2008. 1240 Acantilados con vegetación de las costas mediterráneas con *Limonium* spp. endémicos. En: VV.AA, *Manual de directrices ecológicas para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 89 p.
- GALÁN, C. & HERRERA, F. F., 1998. Fauna cavernícola: ambiente y evolución. *Boletín de la Sociedad Venezolana Espeleológica* 32, diciembre: 13-43.
- ROBLED0, P. A., DURÁN, J. J. & GARAY, P., 2008. 8310 Cuevas no explotadas por el turismo. En: VV.AA, *Manual de directrices ecológicas para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 57 p.
- GARCÍA CORDÓN, J. C. & RASILLA ÁLVAREZ, D. F., 2005. Incremento de la erosión y nivel del mar en la costa de Cantabria. En: Hernández Calventi, L., Alonso Bilbao, I., Mangas Viñuela, J. & Yanes Luque, A. *Tendencias actuales en geomorfología litoral. Aportaciones a las III Jornadas de Geomorfología Litoral*. 28-30 de abril de 2005. Universidad de Las Palmas de Gran Canaria pp 117-125.
- GARCÍA CORDÓN, J. C., 2003. Seguimiento de la invasión de *Cortadera selloana* (Sch&Sch) Asch. & Graeb. en Cantabria. En: Beltrán Yanes, E., Arozena Concepción, M.^a E. & Dorta Antequera, P. (coords.) *La biogeografía: ciencia geográfica y ciencia biológica. Actas del II Congreso Español de Biogeografía*. La Gomera, 2002. pp 325-333.
- HEINRICH, D. & HERAT, M., 1990. *Atlas de Ecología*. Alianza Atlas n.º 13. Madrid: Alianza Editorial. 296 p.
- HERNÁNDEZ PACHECO, E., 1909. *Estudio geológico de Lanzarote y de las Islas Canarias*. Memorias de la Real Sociedad Española de Historia natural, n.º 4. Tomo 6. pp 7-299.
- JAUBERT, M. J., 1978. *La Mer Assassinée*. Paris: Éditions Alain Moreau. 479 p.
- LA ROCA, N., SANJAUME, E. & GIL, M.^a V., 2005. Principales características de los acantilados de La Nau. En: Sanjaume, E. & Mateu, J. (eds.). *Geomorfología Litoral i Quaternari. Homenatge al professor Vicenç M^a. Rosselló i Verger*. Universitat de València. pp 223-244.

- LÓPEZ BEDOYA, J., 2008. O fenómeno rururbano e os factores físicos condicionantes. Ideas para a ordenación do territorio galego. CGAC (en prensa). 11 p.
- LÓPEZ BEDOYA, J. & PÉREZ ALBERTI, A., 2004. Factores, distribución e impacto de la marea negra del buque Prestige en la costa noroccidental gallega. En: *Xeográfica. Revista de Xeografía, Territorio e Medio Ambiente* 4: 117-140. Universidade de Santiago de Compostela. Facultade de Xeografía e Historia.
- LÓPEZ BEDOYA, J. & PÉREZ ALBERTI, A., 2006b. Factores de erosión y degradación ambiental de los complejos sedimentarios costeros de Galicia en el marco de una ocupación poco planificada del litoral. En: *Actas de a IX Reunión Nacional de Geomorfología*, Santiago de Compostela. pp 861-876.
- LÓPEZ BEDOYA, J. & PÉREZ ALBERTI, A., 2007. La costa de Ribadeo. En: Pérez Alberti *et al.* *Itinerarios geomorfológicos por Galicia I. IX Reunión Nacional de Geomorfología*. Santiago de Compostela: USC/GIXA. pp 11-62. 154 p.
- MARTÍN PALMERO, F. (ed.), 2004. *Desarrollo sostenible y huella ecológica*. A Coruña: Netbiblo. 240 p.
- MARTÍNEZ MARTÍNEZ, J., 1997. *Geomorfología ambiental*. Servicio de Publicaciones de la Universidad de Las Palmas de Gran Canaria.
- MOLINA HOLGADO, P., 2000. *La utilización de técnicas estadísticas en el estudio de las comunidades vegetales*. En: Meaza, G. (dir.) *Metodología y práctica de la Biogeografía*. Colección La Estrella. Polar Ediciones del Serbal n.º 22. pp 117-139. 392 p.
- PARDO PASCUAL, J. E. & SANJAUME SAUMELL, E., 2001. Análisis multiescalar de la evolución zoster. *Cuadernos de Geografía* 69/70: 95-126. Universitat de València. Facultat de Geografia i Història.
- PÉREZ ALBERTI, A. & LÓPEZ BEDOYA, J., 2008. *Espacios de Interese Xeomorfolóxico de Galicia*. Xunta de Galicia. 796 p.
- PICORNELL, M., 2004. *Los habitantes de las cuevas anquihalinas*. Nota sobre "A punto de cumplirse el centenario del nacimiento de la biospeleología como ciencia con el descubrimiento del troglobio Typhlocirolana Moraguesi en las cuevas del Drac (Mallorca), el doctor Damià Jaume, de l'Institut Mediterrani d'Estudis Avançats (CSIC-UIB), ha iniciado la exploración sistemática de los sistemas cavernícolas de las Islas Baleares, Islas Canarias y el Levante ibérico". Disponible en: www.cota0.com/PDF/anquihalinas.pdf
- PINOT, J. P., 1998. *La gestion du littoral. Tome I-Littoraux tempérés: côtes rocheuses et sableuses*. Paris: Institut Océanographique. 400 p.
- PONS, G. X. & GUIJARRO, J. A. (eds.), 2002. *El canvi climàtic. Pasat, present i futur*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears n.º 9. 203 p.
- RODRÍGUEZ VIDAL, J., 2007. Los modelados litorales como instrumento de correlación regional en las costas del estrecho de Gibraltar. *Resúmenes de la XII Reunión Nacional de Cuaternario*. Ávila.
- RODRÍGUEZ VIDAL, J. & CÁCERES PURO, L. M., 2005. Niveles escalonados de cuevas marinas cuaternarias en la costa oriental de Gibraltar. *Geogaceta* 37: 147-150.
- ROIG I MUNAR, F. X., PONS, G. X., RODRÍGUEZ PE-REA, A. & MARTÍN PRIETO, J. A., 2008. Cuantificación de la microerosión antrópica como factor significativo en playas arenosas y acantilados asociados (el caso de Menoría, I. Balears). En: Benavente, J. & Gracia, F. J. (eds.) *Trabajos de Geomorfología en España 2006-2008. Actas de la X Reunión Nacional de Geomorfología*. Cádiz. pp 327-330.
- SANJAUME SAUMELL, E., 1985. *Las costas valencianas. Sedimentología y morfología*. Universidad de Valencia. Sección de Geografía. 505 p.
- SEPÚLVEDA, S. A., 2005. Reconocimiento de efectos de amplificación topográfica vía análisis de deslizamientos en laderas rocosas. En: *Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica IX Jornadas*. Concepción, Chile, 16-19 de noviembre de 2005. Código N.º A01-03.
- ÚRIZ, M. J., ZABALA, M., BALLESTEROS, E., GARCÍA-RUBIES, A. & TURON, X., 1993. El Bentos: les coves. En: Alcover, J. A., Ballesteros, J. A., Fornós, J. J. (eds.) *Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears n.º 2. CSIC, Moll. Cap. XLV. pp 731-748.
- VAN WAERBEKE, D., 1999. L'incidence des sentiers côtiers sur la dynamique des falaises

en roche meuble du Petit Tregor (Bretagne nord). En: Coudé, A. & Coudé-Gaussen, G. (dir.). *Littoraux: entre environnement et aménagement*. Les Documents de la Maison de la Recherche en Sciences Humaines n.º 10. Caen. 260 p.

YANES, A. & BELTRÁN, E., 2008. 1250 Acantilados con vegetación endémica de las costas macaronésicas. En: VV.AA., *Manual de directrices ecológicas para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Dirección General de Medio Natural y Política Forestal, Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. 111 p.

YONI, C., HALLEGOUËT, B., BOUGIO, Y. & TILLY, G., 1998. Macro-déchets en baie d'Audierne. *Penn ar Bed* 170: 1-12.

BIBLIOGRAFÍA APORTADA POR LA SECEM

BLANCO, J. C., 1998. *Mamíferos de España*. Geopláneta.

GONZÁLEZ, L. M., 2007a. *Monachus monachus* (Hermann, 1779). En: Palomo, L. J., Gisbert, J. & Blanco, J. C. *Atlas y Libro Rojo de los mamíferos de España*. Madrid: Dirección general para la Biodiversidad, SECEM-SECEMU. pp 315-318.

GONZÁLEZ, L. M., 2007b. *Monachus monachus* (Hermann, 1779). Ficha Libro Rojo. En: Palomo, L. J., Gisbert, J. & Blanco, J. C. *Atlas y Libro Rojo de los mamíferos de España*. Madrid: Dirección general para la Biodiversidad, SECEM-SECEMU. pp 319-320.

IBÁÑEZ, J. M., 1981. La foca monje (*Monachus monachus*). *Memoria do Museo do Mar. Serie Zool.*, 1(10): 1-12.



7. FOTOGRAFÍAS



1a)



1b)



1c)

Fotografía 1a, 1b y 1c

Ejemplos de estadios evolutivos de bufaderos, a partir de socavamientos y alteraciones superficiales del sustrato rocoso siguiendo las direcciones de fractura. Imágenes 1a y 1c, Olló de Rinlo, Robadeo, Lugo; imagen 1b, al sur del Olló Longo, Ribadeo, Lugo.



Fotografía 2

Sectores inferior e intermedio del perfil de alzado de una boca de cueva, en las inmediaciones del Olló Longo, Ribadeo, Lugo. Nótese el predominio abrasivo de la franja inferior y el arranque marino en el inmediatamente superior a partir del control estructural.



Fotografía 3

Cueva de evolución condicionada por la alternancia de áreas alteradas y espacios de roca sana, en la ensenada de A Vella, Ribadeo, Lugo.



Fotografía 4

Cueva derivada de un sustrato rocoso alterado de manera generalizada, al este de la ensenada de Loureiro, Ribadeo, Lugo.



5a)



5b)

Fotografía 5a y 5b

Cuevas monodireccionales, horizontal en las proximidades del Olló de Rinlo y vertical en As Illas, Ribadeo, Lugo.



Fotografía 6

Cueva bidireccional, en la playa de Moledo, Ribadeo, Lugo.



Fotografía 7

Cueva multidireccional, en arco, en la playa de Os Castros, Ribadeo, Lugo.



Fotografía 8

Cueva de techo orientado por la existencia de estratos plegados. En As Lonxas, Ribadeo, Lugo.



Fotografía 9

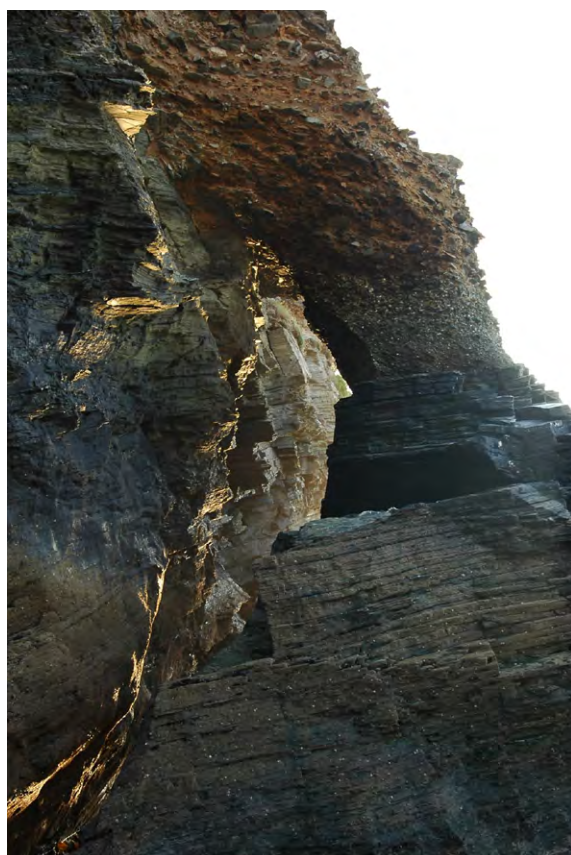
Cueva orientada a favor de los estratos en Illa Pancha, Ribadeo, Lugo.



10a)



10b)



10c)

Fotografía 10a, 10b y 10c

Ejemplos de arcos rocosos, en Augas Santas, As Illas y Cegoñas (modelado parcialmente en un depósito antiguo).



Fotografía 11

Salida hacia el mar de un túnel rocoso en Augas Santas.



Fotografía 12

Cueva supramareal en colapso en la Cala Emboixar, cerca del Cap Ventós, isla de Cabrera, Illes Balears. Obsérvese el desarrollo de un suelo incipiente y de vegetación aerohalina a partir de los desprendimientos de parte del techo.



Fotografía 13

Sucesión de cuevas en un entallamiento continuo, en el archipiélago de Cabrera. Como se puede observar, la estructura explica la evolución de estas cuevas semisumergidas. Estratificación horizontal y patrón de fracturas oblicuo van haciendo retroceder el frente acantilado. Las oquedades llegan a coalescer.



Fotografía 14

Esta cueva emergida está afectada por las salpicaduras y la lámina de agua en fase de temporal. La combinación de la estratificación y la fracturación debilitan tanto el techo que éste se desploma, dificultando la evolución de la cueva en profundidad. Punta de l'Ensiola, Cabrera.



Fotografía 15

Cueva semisumergida en litología kárstica en el litoral de la isla mallorquina de Cabrera. La inundación de las cámaras de las grutas dificulta su estudio, que sólo puede ser realizado por expertos en espeleobuceo.



Fotografía 16

Ejemplo de actividad bioclástica de raíces de árboles en cuevas, Fene, A Coruña.



Fotografía 17

Esta cueva, de ancho centimétrico y profundidad decimétrica con unas mudas de *Ligia oceanica*, demuestra que el tamaño no es definitivo para que se desarrolle una comunidad propia de las cavidades costeras, confirmando la importancia de la clasificación de Howarth, de 1983, para las cuevas canarias. Cabanas, Ría de Ares, A Coruña.

