

El litoral de Menorca: marco fisiográfico y tipos de costa

Pau Balaguer¹, Francesc X. Roig-Munar², José Á. Martín-Prieto³ y David Carreras⁴

¹ ICTS SOCIB, Sistema de Observación y Predicción Costera de las Islas Baleares (MINECO-CAIB), Palma.

² Q4atre Consultoria Ambiental, Es Migjorn Gran.

³ Departament de Geografia, Universitat de les Illes Balears, Palma.

⁴ OBSAM, Observatori Socio-Ambiental de Menorca, Maó.

RESUMEN

En este trabajo se realiza un inventario de los principales tipos de costas de la Isla de Menorca. Los datos que se presentan emanan de una clasificación de la línea de costa en función de su altura, naturaleza y de la edad geológica de los materiales que la constituyen. Se realiza un inventario exhaustivo de los sistemas dunares litorales dada su elevada frecuencia en las costas menorquinas y el “elevado” grado de protección que les confiere la normativa ambiental. La isla está dividida en dos unidades o regiones morfoestructurales y fisiográficas (*Tramuntana* y *Migjorn*) cuyos materiales y estructura geológica dan lugar a unas características geomorfológicas muy diferenciadas de las que el litoral no es ajeno. De acuerdo con esta característica también se han desglosado los datos de tipos de costa para cada unidad o región. Los resultados se presentan compilados en forma de tablas y figuras con la finalidad que constituyan una herramienta de fácil manejo de cara a la consulta.

Palabras clave: tipos de costa, gestión litoral, Menorca

ABSTRACT

This work shows an inventory of the main types of coasts of the Menorca island. The data calculated and presented are shoreline classifications according to height of coasts, nature and geological age of the materials, which forms the coasts. It has been realized an exhaustive list of the coastal dune fields, because these geomorphological features are quite abundant in the Island and because the high degree of legal protection of this features in Menorcan coasts. The island is divided in two main structural and physiographic regions (*Tramuntana* and *Migjorn*) and the materials that form each one and their coasts are quite different. The coastal classifications and data calculated are also presented for each region. Results are compiled as tables and figures in order to be an easy tool for coastal managements and the broad audience.

Keywords: coast type, coastal management, Menorca

1 | Introducción

Este trabajo tiene la intención de describir los tipos de costa de la isla de Menorca y ofrecer al lector un inventario y datos generales de su litoral de acuerdo con sus principales características genéticas y morfológicas. La enumeración y explicación de los diferentes procesos y agentes que afectan a la costa se enumerarán o bien solamente serán relatados a lo largo del trabajo, puesto que la profundización de éstos se reserva para otros capítulos de este volumen en los que son descritos con mayor detalle.

La isla de Menorca, después de la isla de Mallorca con 3.636 km², es la segunda en extensión de las Islas mayores del Archipiélago Balear con una extensión de 695 km². Le siguen las islas de Ibiza con 572 km² y Formentera con 82 km² (www.ibestat.com). En cuanto a longitud de línea de costa, Menorca también es la segunda con 433 km después de la isla de Mallorca con 842 km, seguida de las islas de Ibiza con 340 km y Formentera con 114 km (*ibid.*). En cuanto a superficie y a longitud de costas, Menorca es también la segunda isla de las Baleares concentrando un 25 % de la línea de costa y un 14 % de la superficie del total de las Islas Baleares.

Desde el punto de vista cartográfico, Menorca presenta una forma que a grandes rasgos parece un trapecio isósceles (Figura 1). Se localiza en el extremo nororiental del archipiélago constituyendo al mismo tiempo la isla más septentrional. Desde un contexto Balear, Menorca es la isla en la que aparecen los materiales más antiguos de las Islas Baleares con abundantes afloramientos de materiales relativos al estadio superior del paleozoico (Devónico, Carbonífero y Pérmico), en contraposición con la isla de Formentera que es la isla más meridional y que en su conjunto presenta los materiales más recientes, mayoritariamente atribuibles al Mioceno Superior y Cuaternario. La isla de Menorca además de presentar los materiales más antiguos de las Baleares, afectados por la Orogenia Herciniana y plegados de nuevo por la Orogenia Alpina (materiales del Devónico y Carbonífero), también presenta vastas extensiones de territorio -alrededor de la mitad de la isla- cuyos materiales pertenecen al Mioceno Superior y Cuaternario. Estos materiales presentan una sedimentación post-tectónica, con una estructura tabular, manteniendo la misma geometría en la que fueron depositados. Ambos paquetes de materiales están claramente separados por una falla de orientación NWW-ESE y que divide la isla en dos regiones fisiográficas que son: *Tramuntana* (en el Norte) y *Migjorn* (en el Sur) (Obrador, 1998; Gelabert, 2003 y Fornós y Obrador, 2003). El extremo occidental de la falla que separa ambas regiones se localiza en Cala Morell (término de Ciutadella) y el

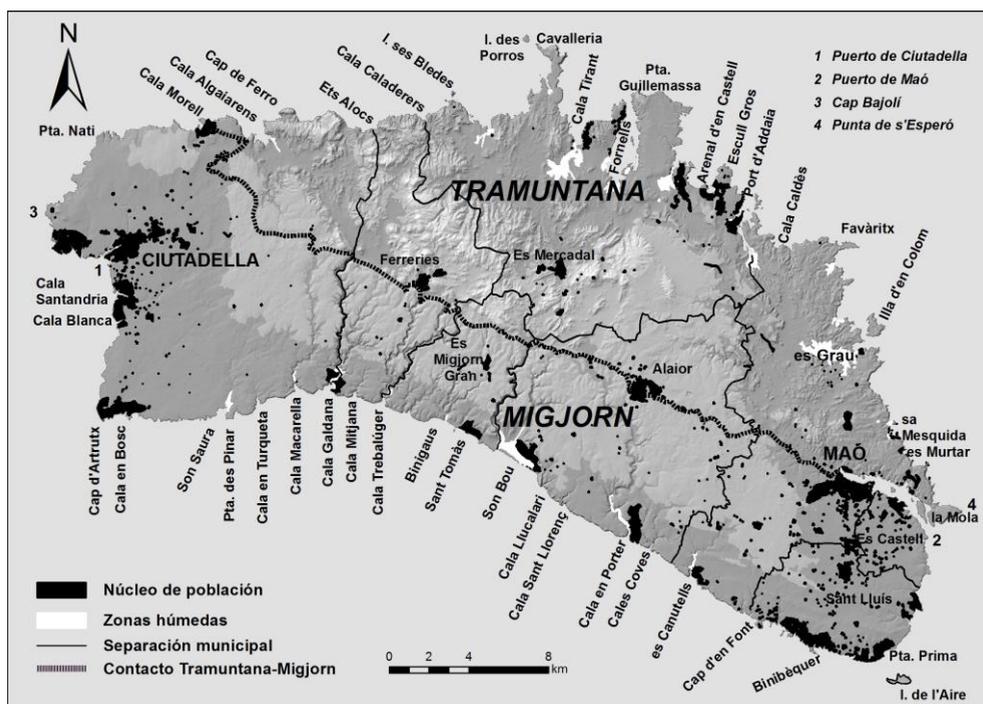


Figura 1. Mapa general de la isla de Menorca, distribución de los principales núcleos de población, zonas húmedas, delimitación de los términos municipales e ilustración del contacto entre las regiones fisiográficas/morfoestructurales de Tramuntana (N) y Migjorn (S).

Figure 1. General map of Menorca with the main towns, lagoons, administrative borders and the two major landscape and morphostructural regions, Tramuntana northward and Migjorn southward.

extremo oriental lo constituye el Port de Maó. Dicha fracturación ha permitido la configuración de este puerto natural considerado uno de los más puertos naturales más largos y más seguros de todo el Mediterráneo.

La configuración del litoral de Menorca está condicionada por la existencia de las dos unidades morfoestructurales/fisiográficas en las que se divide la isla *Tramuntana* al Norte y *Migjorn* al Sur. Una de las principales diferencias entre ambas unidades es que la septentrional está básicamente constituida por materiales plegados, afectados por estructura compresiva atribuible a las orogénias Herciniana y Alpina, exceptuando los depósitos cuaternarios. En cambio la unidad meridional está formada por materiales post-orogénicos, únicamente afectados por una tectónica de distensión y de reajuste. Estas características se traducen en una variabilidad de líneas de costa, siendo la de *Tramuntana* más variada en cuanto a formas y perfiles de costa alterándose formas cóncavas, convexas, acantilados rectos y profundos, costas rocosas bajas, costas con formas escalonadas y playas de longitudes de costa nunca superior al kilómetro. La costa de *Migjorn* por su parte, presenta costas bajas de forma escalonada, costas bajas y altas con un perfil escalonado, acantilados en su mayoría de perfil recto, calas y playas que en la parte central alcanzan la máxima longitud de costa (Binigaus, Sant Tomàs y Son Bou). Fruto del mayor grado de estructuración de los materiales de *Tramuntana* con fallas direccionales WNW-ESE y un sistema de cabalgamientos de direcciones ortogonales NE-SW y NW-SE (Gelabert, 2003), resulta a una costa más recortada con presencia de calas de formas variables, y en muchos casos de recorrido sinuoso, al mismo tiempo que el desarrollo de puertos naturales como es el caso de Fornells y Addaia. La zona de *Migjorn* está formada por materiales carbonatados, en su mayoría calcareníticos del Mioceno Medio-Superior relacionados con el desarrollo de arrecifes coralinos (Obrador, 1998; Fornós y Obrador, 2003; Obrador y Pomar, 2004). De acuerdo con Gelabert (2003), el *Migjorn* se puede definir como un anticlinal laxo debido a la presencia de una falla inversa NNE-SSW en su parte central. La cresta de dicho anticlinal -zona central del *Migjorn*- es la que presenta las costas con mayores alturas. El sistema de fracturación de esta unidad, con una tendencia a presentar direcciones E-W en los flancos occidental y oriental y dirección N-S en el sector central, controla el trazado de los cursos fluvio-torrenciales que, juntamente con los procesos cársticos, configuran cañones y capturas de dolinas. Esta concurrencia de factores en la línea de costa da lugar a la formación de las calas del *Migjorn* (Gelabert, 2003; Segura y Pardo, 2003; Rosselló, 2003b, 2004; Gómez-Pujol *et al.*, 2013a).

Desde el punto de vista poblacional y administrativo es una isla de carácter bicéfalo con dos núcleos de población: Maó y Ciutadella, localizados en los extremos oriental y occidental respectivamente, cuyos municipios concentran más del 50% de la población. La isla se divide en 8 municipios (Figuras 1 y 3) que de Este a Oeste y de acuerdo con los datos el Padrón de Población de 2016 del Instituto Balear de Estadística (IBESTAT) son Sant Lluís con 7.313 hab., es Castell con 7.455 hab., la capital Maó con 28.099 hab., Alaior con 8.959 hab., es Migjorn Gran con 1.419 hab., es Mercadal con 5.098 hab., Ferreries con 4.617 hab. y Ciutadella (el primero en extensión y segundo en población) con 28.641 hab.

En cuanto a clima marítimo de Menorca, la localización de la isla en el extremo septentrional de las islas Baleares explica que durante los meses de invierno la costa de la región de *Tramuntana* reciba habitualmente los embates de los fuertes temporales de viento y, en consecuencia, de oleaje de dirección Norte provenientes

del Golfo de León (Cañellas, 2010; Balaguer *et al.*, 2015). En cambio durante los meses de verano la intensidad de los mismos se atenúa. En la costa Sur de la isla (región de Migjorn), los oleajes predominantes tienen direcciones provenientes de Suroeste y Sureste durante todo el año, llegándose a alcanzar alturas significativas de oleaje de más de 3 m durante los meses de invierno (*ibid.*). La preeminencia de los fuertes vientos y oleajes del Norte, junto con la compleja estructura geológica de la región de Tramuntana, principalmente configurada por materiales muy fracturados (Rosselló, 2003a), da lugar a una línea de costa muy recortada y expuesta continuamente a los agentes de erosión marina que la modelan constantemente.

2 | Materiales y métodos

La descripción de los tipos de costa de la isla de Menorca se ha basado mayoritariamente en el análisis de las características de las bases cartográficas digitales a escala 1/5000, en el uso de fotografía oblicua de la línea de costa y en la observación directa en el campo. El manejo y la gestión de toda la información cartográfica se ha realizado mediante la utilización de los programas de Sistemas de Información Geográfica ArcMap y gvSIG.

Las bases cartográficas utilizadas han sido el Mapa Topográfico Balear 1/5.000 (MTB) correspondiente a las colecciones realizadas en 1995 y en el año 2008. La colección de 2008 es la más actual y de la que se extraen los datos oficiales referentes a superficie y longitud de costa de las islas Baleares ofrecidos por el Instituto Balear de Estadística (IBESTAT. www.ibestat.es). El cálculo de la altura de la línea de costa se ha realizado a partir de un Modelo Digital del Terreno, utilizando el MTB 3d 1/5.000 correspondiente a la colección de 2008 basándose en la creación de contornos (*contours*) de 3, 5, 15, 30, 50 y 100 m y la creación de áreas de influencia (*buffers*), hacia el interior, de la línea de costa de 25 y 40 m. La altura de la costa se ha determinado mediante el solapamiento de los contornos de 3, 5 y 15 m con el área de influencia de 25 m y el solapamiento de los contornos de 30, 50 y 100 con el área de influencia de 40 m (Tabla 2).

La determinación de tipos genéricos de costa se ha realizado a partir de la cartografía referente a la sensibilidad ambiental de la línea de costa del Sistema de Observación y Predicción Costero de las Islas Baleares (SOCIB) (Balaguer *et al.*, 2006; 2015). Para la clasificación de costas de acuerdo con las características geológicas, se ha partido de la base cartográfica correspondiente a geología y litología del Observatorio Socio Ambiental de Menorca (OBSAM) consultable en la Infraestructura de Datos Espaciales del Observatorio Ambiental de Menorca (IDE Menorca). La fotografía oblicua de la línea de costa, cedida por la Demarcación de Costas de las Islas Baleares, fue tomada en 2001 y está realizada en una escala de base aproximada de 1/5.000. A pesar del tiempo transcurrido desde la toma de las fotografías, se considera que las características físicas y rasgos geomorfológicos de la línea de costa no han variado, de modo que constituyen una herramienta útil para llevar a cabo este estudio.

Se han calculado los porcentajes de tipos de costa según la altura (Tabla 2) y litología atendiendo a las características estructurales y geomorfológicas de acuerdo con la zonificación propuesta por Bourrouilh (1983) para las regiones de *Tramuntana* y *Migjorn* (Figura 3). Diferenciando 4 zonas para la región de *Tramuntana*: Sector 1,

entre el Port de Maó y Addaia; Sector 2, entre Addaia y Mola de Fornells; Sector 3, de la Mola de Fornells al W del T.M. de Ferreries y Sector 4, NE del T.M. de Ciutadella. Para la región de *Migjorn* diferencia tres zonas: Sector 1 u oriental, desde el Port de Maó hasta la zona de Cala en Porter; Sector 2 o central, zona central entre Cala en Porter y Cala Macarella y Sector 3 u occidental, entre Calla Macarella y Cala Morell (en el NNW de la isla).

De manera paralela, se han utilizado herramientas de libre consulta como son el Google Earth (www.googleearth.com), el visor cartográfico de la Infraestructura de Datos Espaciales del Sistema de Información Territorial de las Islas Baleares (SITIBSA) (<http://ideib.caib.es/visualitzador/visor.jsp>) y el visor cartográfico de la línea de costa (SACOSTA) del SOCIB (<http://gis.socib.es/sacosta/composer>).

En cuanto al formato de los valores en forma porcentual mostrados en las tablas de clasificación de la línea de costa, éstos han sido calculados con bases cartográficas de escala 1/5.000 correspondientes a la colección de 1995 con un nivel de resolución algo inferior y por tanto menor longitud de la línea de costa respecto a la última colección de 2008. Este es el caso de la determinación de los tipos genéricos de costa y de la determinación de clasificación de acuerdo con la era geológica. Para la determinación de la clasificación de la línea de costa de acuerdo con la altura, los valores también se expresan en porcentaje, ya que al haber sido calculados a partir de un modelo digital del terreno (MDT), la mayor parte de islotes de menor entidad no han sido correctamente modelizados (47.2 km menos de línea de costa, lo que supone un 11% del total de la longitud de costa de Menorca).

La determinación de la rugosidad de la línea de costa se ha realizado a partir de la simplificación de la línea de costa escala 1/5.000 correspondiente a la colección de 2008 utilizando la herramienta de generalización (simplificar línea) del paquete de herramientas cartográficas del programa ArcGis 10.3. El cálculo de la rugosidad de la línea de costa persigue ilustrar mediante datos empíricos el elevado grado de rugosidad/articulación del litoral de Menorca. Para recalcar esta característica, también se han calculado los valores correspondientes para las otras islas y para las unidades morfoestructurales análogas a la región del *Migjorn* presentes en la isla de Mallorca, como es el caso de la *Marina de Migjorn* y la *Marina de Llevant* (Gómez-Pujol *et al.*, 2007).

La localización y determinación de las principales características de los sistemas dunares litorales de la isla de Menorca se ha realizado a partir de los trabajos de Servera (1997), Roig *et al.* (2007, 2008, 2009a-b) y Roig (2011). La superficie de dichos sistemas se ha consignado de acuerdo con los resultados de los trabajos anteriores, así como también a partir del cálculo directo sobre la cartografía digital 1/5.000 del MTB en los casos en los que este dato no existía y, en otros casos, de acuerdo con los datos disponibles en la Demarcación de Costas de las Baleares o en la *Infraestructura de Dades Espaciales de Menorca (IDE Menorca)*.

3 | Resultados

Menorca tiene 433 km de línea de costa de los cuales 370 km corresponden a la “isla” mayor (Menorca) y los 63 km restantes a los islotes, entre los cuales la Illa d'en Colom e Illa de l'Aire son los que tienen mayor recorrido de línea de costa con 5,8 km y 3,8 km respectivamente. El 79% del litoral menorquín es de naturaleza rocosa, un 9 %

de costas no consolidadas formadas por materiales tamaño arena, un 3,1% de costas constituidas por guijarros y el 8,5% restante corresponde a líneas de costa modificadas por el hombre mediante diques, puertos, escolleras y paseos marítimos, entre otros tipos de infraestructuras (Tabla 1, Figura 2). De los 433 km lineales de costa, 259 km corresponden a la vertiente de *Tramuntana*, de los cuales 49 km lo constituyen islotes y 174 km corresponden a la vertiente de *Migjorn*, de los que 14 km corresponden a islotes. De acuerdo con la Tabla 1, la distribución de los tipos genéricos de costa de la isla de Menorca es similar a la media de las Islas Baleares. Llama la atención que a pesar de la relativa abundancia de costas rocosas (todas las islas de las Baleares presentan proporciones iguales o superiores al 80% de costas rocosas), Menorca es la segunda isla en longitud de costa formada por materiales de tamaño arena después de la isla de Formentera (Tabla 1).

El cálculo de la rugosidad de la línea de costa se suele utilizar, para determinar su grado de articulación. En estudios relativos a sensibilidad ambiental, el grado de rugosidad/articulación se suele explotar como un indicador que refleja el grado de complejidad de limpieza de la línea de costa, en caso de verse afectada por algún episodio de contaminación marina. A mayor rugosidad y/o articulación las tareas a priori serán más laboriosas que en una costa completamente rectilínea. En estudios de geomorfología, el cálculo de esta variable suele realizarse para resaltar el dominio de algún proceso que condiciona la configuración de la línea de costa (indentaciones fluvio-torrenciales, aspectos relacionados con la estructura, erosión marina, etc.). Los datos reflejados en la Tabla 1, muestran que la isla de Menorca es la que presenta una mayor rugosidad de la línea de costa en comparación con el resto de las Islas Baleares.

LONGITUD DE COSTAS (km)				
<i>Menorca</i>	Mallorca y Cabrera	Eivissa	Formentera	Illes Balears
433	842	334	115	1.723
TIPOS GENÉRICOS DE COSTAS (%)				
Isla	Rocosas	Playas Arena	Playas Cantos	Artificiales
<i>Menorca</i>	79,4	9,0	3,1	8,5
Mallorca	75,6	7,8	1,8	14,8
Eivissa	81,6	5,6	4,2	8,6
Formentera	83,2	14,5	0,1	2,2
Archipiélago de Cabrera	95,6	1,0	2,9	0,4
Islas Baleares	78,9	7,9	2,5	10,7
RUGOSIDAD DE LA LÍNEA DE COSTA (longitud costa / longitud costa simplificada)				
<i>Menorca</i>	1,9	Mallorca y Cabrera		1,6
<i>Tramuntana</i>	2,1	Mallorca		1,6
<i>Migjorn</i>	1,7	Marina de Migjorn		1,4
Pitiüses	1,5	Marina de Llevant		1,6
Eivissa	1,6	Archipiélago Cabrera		1,4
Formentera	1,3	Illes Balears		1,6

Tabla 1. Características generales de las costas de Menorca y comparación con el resto de las Islas Baleares.

Table 1. Menorcan coast main attributes and comparison with the Balearic Islands.

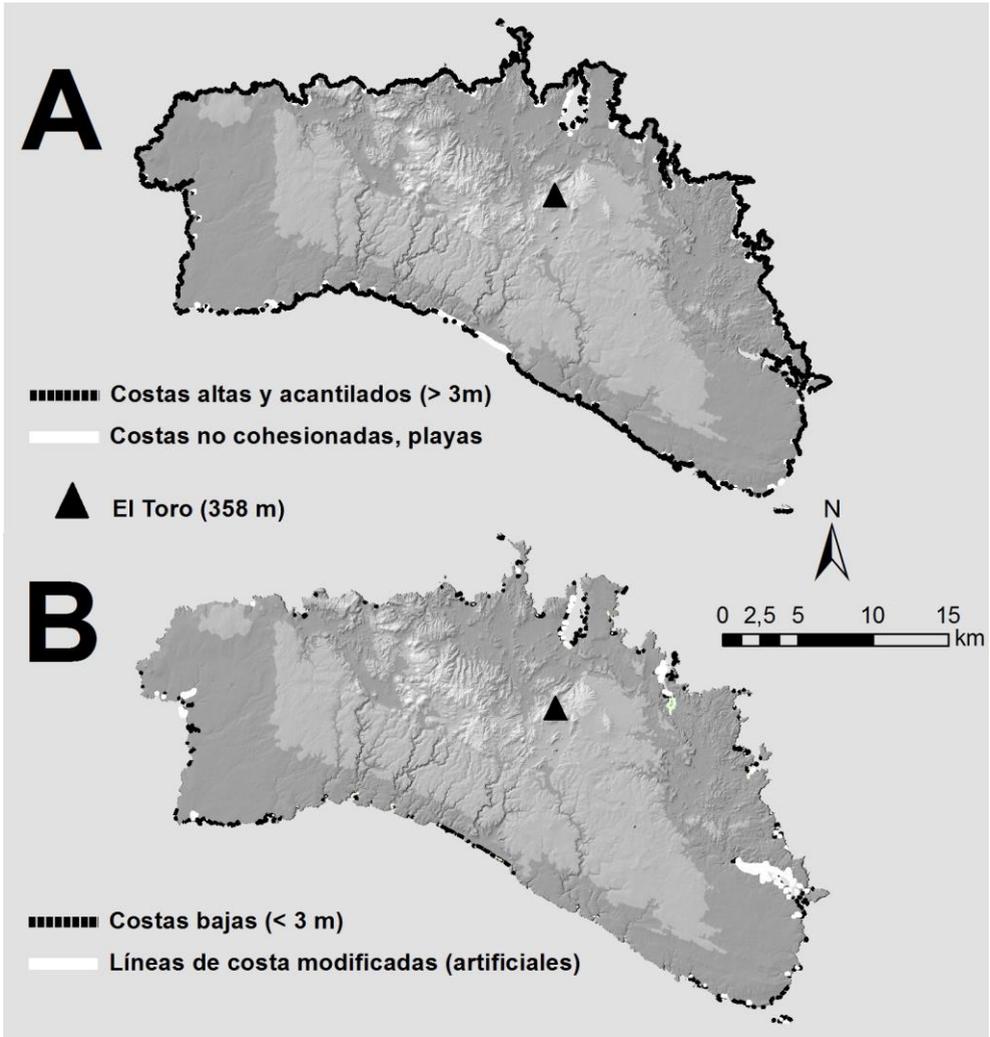


Figura 2. Tipología de costa de la isla de Menorca. (a) acantilados y costas no cohesionadas (playas) y, (b) costas bajas y líneas de costa modificadas (diques, escolleras, puertos, paseos marítimos, etc.).

Figure 2. Menorcan coast types: (a) rocky coasts and beaches; (b) low rocky coasts and human modified coasts (dikes, harbours, etc.).

El litoral de *Tramuntana* es con diferencia el más recortado (Rosselló, 2003a), además de presentar una gran articulación también posee gran cantidad de islotes de pequeño tamaño, muchos de naturaleza olistostrómica (Tabla 1).

La línea de costa de *Migjorn*, aparentemente más rectilínea con una ligera forma de arco desde una perspectiva macroescalar, tiene un valor de rugosidad/articulación bastante elevado. El valor de rugosidad de *Migjorn* es considerablemente más elevado que el de la *Marina de Migjorn* y análogo al de la *Marina de Llevant* de Mallorca (Tabla 1), que poseen características geomorfológicas similares, aunque con diferencias litológicas y de orientación del tramo costero. Este hecho responde a la presencia

elevada de calas de gran recorrido, algunas de ellas con formas complejas y digitadas debido a la conjunción de procesos cársticos y a las características de la fracturación de la plataforma en la que se desarrollan (Gelabert; 2003; Rosselló, 2003b, 2004; Gómez *et al.*, 2013a).

En cuanto a la naturaleza de las playas de Menorca, existen claras diferencias entre las que se localizan en la costa de *Tramuntana* respecto a las de *Migjorn* (Gómez-Pujol *et al.*, 2013b). A nivel general, las playas de las Islas Baleares están constituidas principalmente por bioclastos –restos de organismos marinos relacionados con la presencia de praderas de fanerógamas marinas (Canals y Ballesteros, 1997; Fornós y Ahr, 2006)– cuya proporción supera de media el 80% y en muchos casos es muy cercana al 100%. La isla de Menorca presenta una proporción relativa elevada de líneas de costa constituidas por guijarros (Tabla 1). La mayor parte de esta tipología de costa se localiza en la región de *Tramuntana*, lo que se explica por la acción del oleaje sobre los relieves costeros formados por materiales muy fracturados dando lugar a playas con una elevada proporción de litoclastos y una mayor tendencia a presentar materiales con diámetros correspondientes a gravas y cantos. Gómez-Pujol *et al.* (2013b), mediante un estudio granulométrico de detalle de las playas de la isla

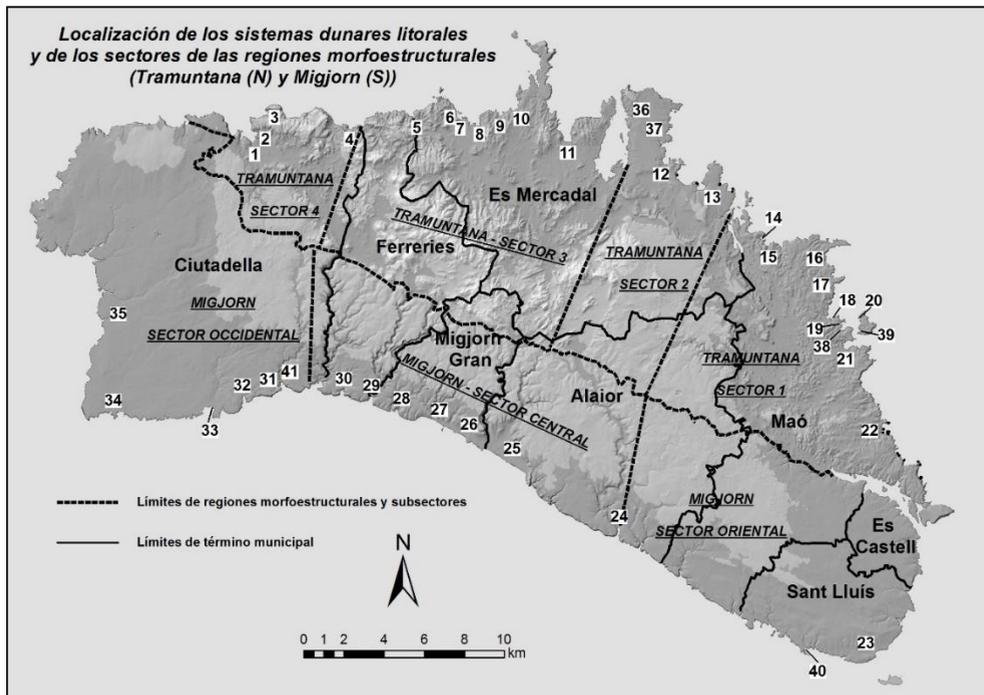


Figura 3. Localización de los sistemas dunares de la isla de Menorca y distribución de las subsectores en los que se dividen las unidades de morfoestructurales de *Tramuntana* (N) y *Migjorn* (S) de acuerdo con Borrouilh (1983). Los números se corresponden con los sistemas dunares litorales señalados en tabla 2.

Figure 3. Location of dunes systems along the coast of Menorca and spatial representation of the morphostructural units and subunits according to Borrouilh (1983). Numbers indicate the dune systems listed in Table 2.

de Menorca, concluyen que las playas de las costas de la región de *Tramuntana* presentan una mayor proporción de litoclastos con elevada presencia de materiales de origen silíceo (relacionados con la presencia de los materiales atribuibles al Paleozoico). Por el contrario, las playas de la región de *Migjorn* tienen menor presencia de litoclastos y mayor presencia de bioclastos (generalmente más del 80%). Alguna de las particularidades que destaca el trabajo de Gómez-Pujol *et al.* (2013b), es que en aquellas playas de la zona central de *Migjorn* en la que desembocan cursos fluvio-torrenciales cuyo origen se localiza en la región de *Tramuntana*, presentan las mayores proporciones de litoclastos y materiales de origen silíceo (granos de cuarzo).

Por otra parte, los sistemas dunares litorales están intrínsecamente relacionados con líneas de costa formadas por playas. En Menorca se han diferenciado hasta 41 sistemas dunares (Figura 3) de los cuales 26 se localizan en el litoral de *Tramuntana* (Tabla 2) y 16 en *Migjorn* (Tabla 4). El sistema dunar litoral de mayor extensión se localiza en Son Saura del Sud, ubicado en el Suroeste de la isla (*Migjorn*) con más de 200.000 m², le siguen Son Bou (*Migjorn*) y Cala Pilar (*Tramuntana*) con alrededor de 170.000 m². De los 10 sistemas dunares con mayor extensión, 7 se localizan en la vertiente de *Tramuntana* y los 3 restantes en *Migjorn*. El elevado número de sistemas dunares litorales o largo del litoral (1 sistema dunar litoral cada 10,5 km de costa) guarda relación con el grado de conservación y bajo desarrollo urbano de las áreas costeras que la convierte en la isla, en términos relativos, menos transformada del conjunto de las Islas Baleares. Actualmente, un 81,6% del litoral se encuentra protegido por alguna regulación legal en la parte terrestre. El 53,3% de la línea de costa está protegida por alguna regulación legal en la parte marina y el 49,2% de costa está afectada por alguna figura de protección marina y terrestre de forma simultánea (Balaguer *et al.*, 2015; SOCIB, 2016).

En lo que respecta a las alturas de la línea de costa, se puede considerar que Menorca es una isla en la que dominan las costas altas con alturas superiores a 3 metros (Tabla 3, Figura 2). Las costas bajas representan el 22% (aprox. 87 km), que corresponden a los fondos de calas, ensenadas, puertos naturales y sistemas dunares litorales. El 18% (ca. 47 km) de la vertiente de *Tramuntana* son costas bajas (< 3m), que se distribuyen a lo largo del interior de los puertos naturales de Maó (vertiente septentrional) Addaia y Fornells (tanto costas rocosas como de materiales no consolidados), costas de playa, muchas de ellas localizadas en el interior de ensenadas, entrantes y calas, algunos sectores de costa rocosa del Cap de Favàritx, el ámbito de Punta Pentiner (costa rocosa), el S de la Illa des Porros y tramos de costa rocosa de la zona de Cala Viola de Ponent de la Península de Cavalleria. El 28% de la costa de *Migjorn* es costa baja (< 3m) (ca. 40 km) que se dispone en el interior de calas (costas rocosas en los flancos y playas en el fondo). A grandes rasgos y de W a E se distribuye de la siguiente manera: a) el ámbito rocoso del sector comprendido entre Cap del Mal Passar, Cap d'Artrutx y Punta de s'Alzina Dolça, b) los sectores de playa de Binigaus, Sant Tomás y Son Bou, c) algunos sectores costeros rocosos de Binisafúller, Binibèquer y Biniancolla, d) costa rocosa del N de la Illa de l'Aire y Punta Prima (este último tramo se combina con playas expuestas), y e) algunos sectores de la vertiente S del Port de Maó.

El 78% (aprox. 346 km) de la línea de costa de Menorca puede considerarse como costa alta, con alturas mayores a 3 m (Tabla 3). El 82% (aprox. 212 km) de la costa de *Tramuntana* tiene alturas mayores 3 m y en *Migjorn* representan el 72% (aprox. 134

Núm.	Nombre	Foredune	Sistema Dunar	Municipio	Extensión (m ²)
1	Algaiarens, T	SI	SI	Ciutadella	28.854 a
2	Es Bot, T	SI	SI	Ciutadella	154.181 c
3	Cala Carbó, T		SI	Ciutadella	38.408 c
4	Cala Pilar, T	SI	SI	Ciutadella	168.490 a
5	Cala Calderer, T	SI	SI	Es Mercadal	9.648 b
6	Pregonda, T	SI	SI	Es Mercadal	163.712 c
7	Pregondó, T	SI	SI	Es Mercadal	3.989 c
8	Binimel·là, T	SI	SI	Es Mercadal	33.166 a
9	Cala Mica, T	SI	SI	Es Mercadal	6.700 c
10	Cavalleria, T	SI	SI	Es Mercadal	116.754 a
11	Tirant, T	SI	SI	Es Mercadal	86.909 a
12	Son Saura del Nord, T	SI	SI	Es Mercadal	106.590 a
13	Arenal d'en Castell, T	SI	SI	Es Mercadal	2.316 a
14	Mongofre, T	SI	SI	Maó	46.339 c
15	S'Enclusa, T	SI	SI	Maó	5.856 a
16	Presili, T		SI	Maó	8.392 a
17	Morella, T	SI	SI	Maó	26.633 a
18	Torraeta, T	SI	SI	Maó	42.963 a
19	Tamarells del Nord, T	SI	SI	Maó	4.053 a
20	Caló Moro, T	SI	SI	Maó	13.253 a
21	Es Grau, T	SI	SI	Maó	93.813 a
22	Cala Mesquida, T	SI	SI	Maó	2.551 a
23	Punta Prima, M		SI	Sant Lluís	1.712 a
24	Cala'n Porter, M		SI	Alaior	9.672 c
25	Son Bou, M	SI	SI	Alaior	169.274 a
26	Sant Tomàs, M	SI	SI	Es Migjorn Gran	24.147 c
27	Binigaus, M	SI	SI	Es Migjorn Gran	3.293 a
28	Escorxada, M	SI	SI	Es Migjorn Gran	19.507 b
29	Trebalúger, M	SI	SI	Es Migjorn Gran	113.691 b
30	Cala Mitjana, M		SI	Ferrerries	981 a
31	Macarelleta, M	SI	SI	Ciutadella	3.853 c
32	Turqueta, M	SI	SI	Ciutadella	916 c
33	Son Saura del Sud, M	SI	SI	Ciutadella	204.257 c
34	Cala en Bosch, M		SI	Ciutadella	13.484 c
35	Cala Blanca, M		SI	Ciutadella	2.596 c
36	Cabra Salada, T	SI	SI	Es Mercadal	sin datos
37	Cala Pudent, T	SI	SI	Es Mercadal	sin datos
38	Tamarells Sud, T	SI	SI	Maó	sin datos
39	Tamarells, T	SI	SI	Maó	sin datos
40	Binibèquer, M		SI	Sant Lluís	894 c
41	Macarella, M	SI	SI	Ciutadella	sin datos

Tabla 2. Relación de los sistemas dunares litorales y principales atributos. Fuentes: a) Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino (2008), b) Roig et al. (2007, 2008, 2009a,b,c) y c) IDE Menorca. M y S indican respectivamente las unidades de Migjorn y Tramuntana.

Table 2. Menorcan dune systems and their main features. From: a) Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente, Rural y Marino (2008), b) Roig et al. (2007, 2008, 2009a,b,c) y c) IDE Menorca). T and M indicate the Tramuntana and the Migjorn geomorphic domains.

km). En *Tramuntana*, a nivel general, las mayores alturas se localizan en los sectores 2 y 4 (Tabla 3, Figura 3). En esta región destacan las costas con alturas comprendidas entre 30 y 50 m en la zona de la Mola del Port de Maó y Pla de s'Esperó formadas principalmente por materiales del Carbonífero (Figura 4), Mola de Fornells y N de la península de Cavalleria con mayoría de materiales del Jurásico y en el sector NW el tramo comprendido entre Cap Gros (E) y Cala Morell (W) donde afloran materiales del Triásico y Jurásico (Figura 4). Las mayores alturas, entre 50 y 100 m, están localizadas en el ámbito de Cala en Caldes (W de de Cap de Favàritx), Mola de Fornells (Jurásico), Canal d'en Sintes/Racó des Llenyam (Permotrias) y E de la Punta de l'Anticrist (Permotrias). En la costa de *Migjorn* las mayores alturas se localizan en el sector 2 (Tabla 3) o sector central (Figura 3). En los sectores 1 y 3 (oriental y occidental respectivamente) hay un predominio de acantilados bajos (< 15 m) (Tabla 3) y en el sector 2 o central son las costas de alturas mayores a 15 m las que adquieren un mayor protagonismo. Los tramos costeros con las mayores alturas están constituidos por calcáreas y calcarenitas del Mioceno Superior y se localizan en el tramo comprendido entre Cala Morell y Punta Nati (Sector Occidental, con afloramientos puntuales de materiales del Jurásico), en las inmediaciones de sa Punta de na Gall (Sector Central, entre Cala Turqueta y Cala Macarella, en el flanco oriental de Cala Trebalúger en el tramo comprendido entre Llucalari y Cala en Porter y entre Cales Coves y es Canutells (Sector Oriental) (Tabla 3, Figura 3).

En cuanto a las características geológicas y litológicas de los materiales que constituyen la línea de costa (Tabla 3, Figura 4), cabe destacar que los materiales correspondientes al Mioceno Superior son los que sustentan el mayor porcentaje de línea de costa, y le siguen los materiales Paleozoicos del Carbonífero y los del Jurásico. En la costa de *Tramuntana* los materiales predominantes, por orden de importancia, son los del Carbonífero, Jurásico y Cuaternario. En la costa de *Migjorn* los predominantes son los del Mioceno Superior y del Cuaternario (Tabla 3, Figura 4).

La litología que encontramos en la línea de costa de Menorca distribuida por sectores según la propuesta de Bourrouilh (1983) (Figura 3) es la siguiente:

Tramuntana Sector 1: costa mayoritariamente formada por turbiditas calcáreas y

Ámbito geográfico		Intervalos de altura de la línea de costa (%)					
		0 a 3 m	3 a 5 m	5 a 15 m	15 a 30 m	30 a 50 m	> 50 m
Menorca		22	32,5	25,9	13,3	5,8	0,5
Tramuntana	Total	17,6	30,9	31,1	14,7	4,9	0,8
	<i>Sector 1</i>	20,5	30,5	30,1	17,8	1,0	0,1
	<i>Sector 2</i>	7,1	41,2	32,1	10,6	6,3	2,6
	<i>Sector 3</i>	19,9	37,5	30,6	7,9	4,0	---
	<i>Sector 4</i>	7,0	6,1	30,1	28,7	23	5,1
Migjorn	Total	27,9	34,6	19	11,3	7,2	---
	<i>Sector occident.</i>	35,3	40,2	15	7,8	1,8	---
	<i>Sector central</i>	22	13,8	22,7	22,1	19,3	---
	<i>Sector oriental</i>	25,3	39,3	20,8	8,4	6,2	---

Tabla 3. Clasificación de la línea de costa de Menorca por intervalos de altura. La localización de los diferentes ámbitos geográficos está descrita en la Figura 3.

Table 3. Menorcan coast height classification. The different units are described at Figure 3.

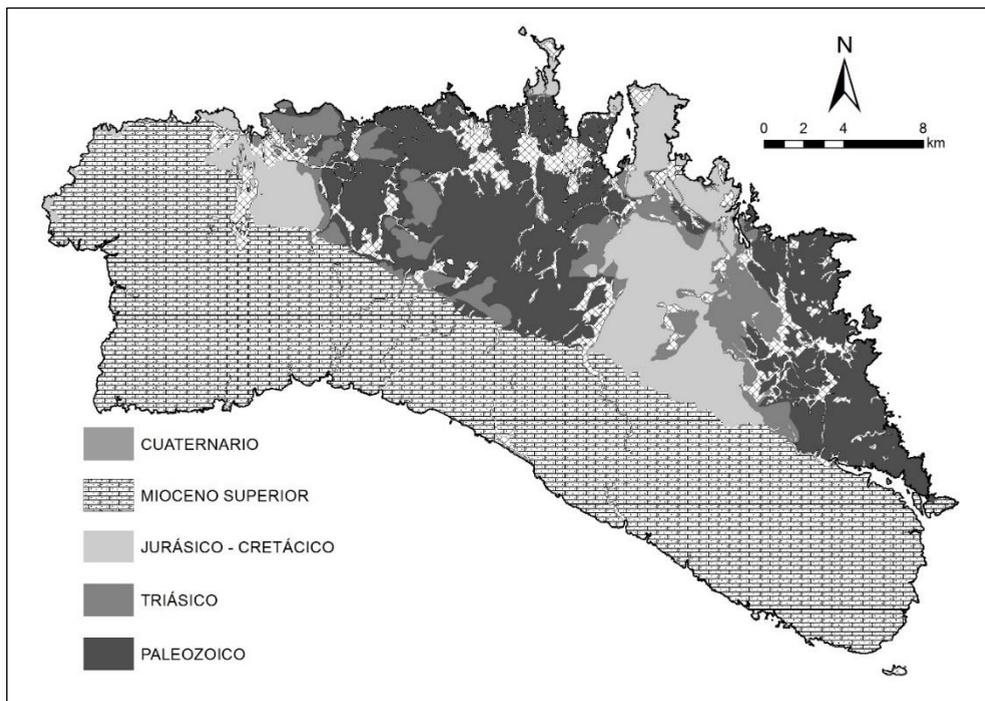


Figura 4. Mapa geológico simplificado de la isla de Menorca.

Figure 4. Simplified geological map of Menorca.

siliciclásticas propias de facies de canal y de desbordamiento del Carbonífero a lo largo de todo el tramo costero, depósitos de playa y calcarenitas (arenas de playa y duna fosilizadas) del Cuaternario, turbiditas diluidas del Devónico en la zona del Port d'Addaia, dolomías y calcáreas del Jurásico en los islotes del Port d'Addaia, afloramientos puntuales de areniscas y pelitas en la zona de Addaia conjuntamente con margas, evaporitas y areniscas del Triásico Inferior.

Tramuntana Sector 2: Algunos de los afloramientos más destacables se encuentran en la línea de costa de la Mola de Fornells donde afloran materiales del Jurásico Inferior (dolomías y calcáreas), conformando los acantilados más elevados de la isla. También afloran en la vertiente E del interior del Port de Fornells. Se observan materiales del Cretácico (magocalcáreas) entre el Arenal de Son Saura y Cala en Tosqueta; calcáreas del Triásico Medio (*Muschelkalk*) en la zona de ses Llantaines al W de s'Arenal d'en Castell; afloramientos del Mioceno Superior (depósitos conglomeráticos), correspondientes al Tortoniense, entre s'Arenal d'en Castell y s'Arenal de Son Saura.

Tramuntana Sector 3: Se trata del más diverso en cuanto a variedad de afloramientos. En este sector, de nuevo, aparecen materiales del Carbonífero (turbiditas y facies de *debris flow*) en la línea de costa comprendida entre Cala Mica y Punta des Carregador (W); las facies volcánicas del Carbonífero (principalmente basaltos y doleritas) en el área de Calesmorts y N de Cala Barri; costas formadas por turbiditas diluidas del Devónico entre Punta Negra y Cala Tirant y, puntualmente, en varios segmentos de costa a E y W de la península de Cavalleria; calcáreas y dolomías

del Jurásico en la bocana W del Port de Fornells y en la mayor parte de la península de Cavalleria, constituyendo los acantilados más altos; costas formadas por materiales del Pérmico en segmentos costeros comprendidos entre Cala Barril y Cala Calderer. Se trata de areniscas, conglomerados y pelitas. Los materiales correspondientes al Triásico Inferior (*Buntsandstein*, sobretudo areniscas cuarcíticas) conforman líneas de costa del sector suoriental del interior del Port de Fornells. En cuanto al Triásico Medio (*Muschelkalk*), destacan los afloramientos localizados en Cala Torta y el Triásico Superior (*Keuper*) aflora puntualmente (margas y evaporitas) al W de Cala Fornells y en algunos puntos de la península de Cavalleria.

Tramuntana Sector 4: En este sector destacan las líneas de costa formadas por pelitas y areniscas del Pérmico que afloran de forma bastante continua en el sector comprendido entre el W de Cala del Pilar y Cap des Ferro/Cala Carbó. Facies volcánicas del Carbonífero que afloran puntualmente en las costas de Algaiarens i Pla de Mar. Triásico Inferior (*Buntsandstein*) que aflora en el área de la Punta de l'Anticrist, el Cap Gros y el sector comprendido entre Punta Roja y Cala Algaiarens. Este sector es en el que más presencia tienen las costas formadas por las calcáreas y dolomías del Triásico Medio (*Muschelkalk*) y se localizan en el sector comprendido entre la zona de Algaiarens y Cala Fontanelles. Las dolomías y calcáreas del Jurásico constituyen un importante tramo de costa comprendido entre s'Escala (W de Cala Algaiarens) y Cala Morell. Es preciso señalar que a lo largo de esta vertiente costera afloran materiales correspondientes al Cuaternario (Pleistoceno y Holoceno) que constituyen principalmente costas de playa y depósitos de eolianitas relacionados con playas y sistemas dunares litorales fósiles depositados con niveles marinos diferentes al actual.

La línea de costa del *Migjorn* de Menorca no presenta tanta variabilidad de litología

ERA	PERÍODO / SERIE	% costa Menorca	% costa Migjorn	% costa Tramuntana	
Cenozoico	CUATERNARIO	15,7	14,9	16,3	
	NEÓGENO Mioceno Superior	Mesiniense	24,6	53,7	0,5
		Tortonense	11,6	24,2	1,1
Mesozoico	Cretácico superior	1,9	no consta	3,5	
	Jurásico	17,6	6,8	26,5	
	Triásico superior (<i>Keuper</i>)	0,4	no consta	0,7	
	Triásico medio (<i>Muschelkalk</i>)	1,4	no consta	2,6	
	Triásico inferior (<i>Buntsandstein</i>)	2,3	no consta	4,2	
Paleozoico	Pérmico	2,1	no consta	3,9	
	Carbonífero	21,4	0,4	38,8	
	Devónico	1,1	no consta	2,0	

Tabla 3. Clasificación de la línea de costa de Menorca por intervalos de altura. La localización de los diferentes ámbitos geográficos está descrita en la Figura 3.

Table 3. Menorcan coast height classification. The different units are described at Figure 3.

correspondiente a diferentes eras geológicas como ocurre en la zona de *Tramuntana* (Tabla 4 y Figura 4). Los materiales que constituyen la plataforma carbonatada del *Migjorn*, y por tanto la mayor parte de su línea de costa, corresponden a calcáreas, conglomerados y facies de *lagoon* del Tortoniense (estadio inferior del Mioceno Superior), calcarenitas correspondientes a facies de talud del Mesiniense (estadio superior del Mioceno Superior), depósitos de playa, depósitos de fondo de valle, eolianitas y calcarenitas del Cuaternario correspondientes a paleosuleos y registros fósiles de playas y sistemas dunares fósiles (Obrador, 1998; Fornós y Obrador, 2003; Obrador y Pomar, 2004) (Figura 4). Cabe señalar, de acuerdo con la cartografía litológica de Menorca disponible en la IDE Menorca, la presencia de sectores de línea de costa mayoritariamente formadas por facies propias de bioconstrucciones del Mesiniense, entre la Punta de Cala Fonda y la Cala des Sac des Blat (SW de Menorca, Sector 3 de *Migjorn*) y en las inmediaciones des Cap d'en Font y Caló d'en Fus (SE de Menorca, Sector 1 del *Migjorn*) (Figura 3).

5 | Conclusiones

Menorca tiene 433 km lineales de costa de acuerdo con la fuente cartográfica de mayor detalle a la que se ha podido acceder. De las cuales, alrededor del 80% son rocosas: un 9% están formadas por playas de arenas y un 3% son playas de guijarros de las cuales la mayor parte se localizan en el litoral septentrional (*Tramuntana*). Aproximadamente un 9% de la línea de costa ha sido modificada por el hombre, las mayores concentraciones de estos tipos de costa se localizan en el interior de puertos naturales como Maó, Ciutadella, Fornells, Cala en Bosc y Addaia. Existe una clara diferencia entre las vertientes litorales de *Migjorn* y de *Tramuntana* a raíz de la composición litológica, estructura geológica y geomorfología de la línea de costa. Menorca presenta una línea de costa muy articulada (abundancia de entrantes, radas y calas) y uno de los principales rasgos que diferencian ambas vertientes es el grado de articulación de la línea de costa, siendo sensiblemente más recortada la costa septentrional que la meridional. En cuanto a las litologías que constituyen la línea de costa, existe una mayor heterogeneidad de materiales en la costa de *Tramuntana* (serie incompleta que abarca desde el Devónico al Holoceno), mientras que en la costa de *Migjorn* existe una mayor uniformidad (serie incompleta que abarca desde el Mioceno Superior hasta el Holoceno).

El 22% de la línea de costa de la isla es baja, con alturas menores a 3 metros, de las que más de la mitad son costas de playa y costas modificadas por el hombre. El 78% restante son costas altas, cuyas mayores alturas (entre 30 y 100 metros) suponen algo más del 6% del total de la línea de costa. Menorca es una isla con un número considerable de sistemas dunares litorales (41). La relación entre sistemas dunares por km de costa es de 1 sistema dunar litoral cada 10 km lineales de costa. Dichos sistemas presentan diferentes grados de conservación dependiendo de la presión humana ejercida sobre ellos.

Bibliografía

Balaguer, P., Vallespir, J., Vizoso, M., Ruiz, M., Cañellas, B., Fornós, J.J. y Tintoré, J. (2015): *Atles de Sensibilitat Ambiental del Litoral de les Illes Balears. Edición 2015*. Palma, SOCIB, Sistema de Observación y Predicción Costero de las Illes Balears. 149 pp.

- Balaguer, P., Vizoso, G., Ferrer, M.I., Ruíz, M., Orfila, P., Basterretxea, G., Jordi, A., Fornós, J.J., Satorres, J., Roig-Munar, F.X. y Tintoré, J. (2006): Zonificación del litoral Balear frente a un posible derrame o vertido de hidrocarburos. Establecimiento de un Índice de Sensibilidad Ambiental (ISA) de la línea de costa. En: Pérez-Alberti, A. y López-Bedoya, J. (eds.), *Actas de la IX Reunión Nacional de Geomorfología. Santiago de Compostela*: 311-322. Santiago de Compostela, Universidad de Santiago de Compostela.
- Bourrouilh, R. (1983): *Estratigrafía, sedimentología y tectónica de la isla de Menorca y del Noreste de Mallorca (Balears). La terminación Nororiental de las Cordilleras Béticas en el Mediterráneo Occidental*. Madrid, Memoria del Instituto Geológico y Minero de España. 2 Vol. 672 pp.
- Canals, M. y Ballesteros, E. (1997): Production of carbonate particles by phytobenthic communities on the Mallorca-Menorca shelf, northwestern Mediterranean Sea. *Deep Sea Research*, 44 (3-4): 611-629.
- Cañellas, B. (2010): *Long-term extreme wave height events in the Balearic Sea: characterization, variability and prediction*. Tesis Doctoral. Palma, Universitat de les Illes Balears. 85 pp.
- Fornós, J. J. y Ahr, W. M. (2006): Present-day temperate carbonate sedimentation on the Balearic Platform, western Mediterranean: compositional and textural variation along a low-energy isolated ramp. *Geological Society, London, Special Publications*, 255(1): 71-84.
- Fornós, J.J. y Obrador, A. (2003): Geología de Menorca. En: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds.), *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 31-38. Palma, AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Gelabert, B. (2003): La estructura geológica de Menorca: Las zonas de Tramuntana y de Migjorn. En: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds.), *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 39-48. Palma, AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Gómez-Pujol, L., Balaguer, P. y Fornós, J.J. (2007): El litoral de Mallorca: síntesis geomorfológica. En: Fornós, J.J., Ginés, J. y Gómez-Pujol, L. (eds.), *Geomorfología litoral: Migjorn y Llevant de Mallorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 15: 17-37. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Gómez-Pujol, L., Gelabert, B., Fornós, J.J., Pardo-Pascual, J.E., Rosselló, V.M., Segura, F.S. y Onac, B.P. (2013a): Structural control on the presence and character of calas: Observations from Balearic Islands limestone rock coast macroforms. *Geomorphology*, 194: 1-15.
- Gómez-Pujol, L., Roig-Munar, F.X., Fornós, J.J., Balaguer, P. y Mateu, J. (2013b): Provenance-related characteristics of beach sediments around the island of Menorca, Balearic Islands (western Mediterranean). *Geo-Marine Letters*, 33 (2-3): 195-208.
- Obrador, A. (1998): Un cop d'ull a la geología menorquina. En: Fornós, J.J. (ed.), *Aspectes geològics de les Balears*: 39-66. Palma, Universitat de les Illes Balears.
- Obrador, A. y Pomar, L. (2004): El Miocè de Migjorn. En: Fornós, J.J., Obrador, A. i Rosselló, V.M. (eds.), *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 235-244. Palma, Societat d'Història Natural de Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Roig-Munar, F. X. (2011): *Aplicació de criteris geomorfològics en la gestió dels sistemes litorals arenosos de les Illes Balears*. Tesis doctoral. Palma, Universitat de les Illes Balears. 366 pp.
- Roig-Munar, F.X., Fraga, P., Martín-Prieto, J.Á., Pons, G.X. y Rodríguez-Perea, A. (2009c): Fixació i estabilització de sistemes dunars a les Illes Balears per processos de forestació: el cas de Menorca). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 129-140.
- Roig-Munar, F.X., Fraga, P., Martín-Prieto, J.Á., Pons, G.X. y Rodríguez-Perea, A. (2009a): Descripció del sistema dunar de Cala Escorxada (Sud de Menorca, Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 155-168.
- Roig-Munar, F.X., Fraga, P., Martín-Prieto, J.Á., Pons, G.X. y Rodríguez-Perea, A. (2009b). Descripció del sistema platja-duna de dunar de Trebalúger i Sant Llorenç (S de Menorca, Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 52: 141-154.

- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.A. y Fraga, P. (2007): Descripció del sistema dunar de Cala en Carbó (NW Menorca, Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 50: 77- 85.
- Roig-Munar, F.X., Martín-Prieto, J.Á., Fraga, P., Pons G.X. y Rodríguez-Perea, A. (2008): Descripció del sistema dunar de l'Arenal de Sant Jordi (cala'n Calderer, Nord de Menorca, Illes Balears). *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 51: 117-130.
- Rosselló, V.M. (2003a): Geomorfología general de Menorca. En: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds.), *Introducció a la Geografia Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 49-64. Palma, AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Rosselló, V.M. (2003b): Las calas y las costa del Migjorn. En: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds), *Introducció a la Geografia Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 87-100. Palma, AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Rosselló, V.M. (2004): El litoral y les cales. En: Fornós, J.J., Obrador, A. y Rosselló, V.M. (eds.), *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 177-122. Palma, Societat d'Història Natural de Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Segura, F. y Pardo, J.E. (2003): Los Barrancos del Migjorn de Menorca. En: Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds.), *Introducció a la Geografia Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 71-86. Palma, AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Servera, J. (1997): *Els sistemes dunars litorals de les Illes Balears*. Tesis Doctoral. Palma, Universitat de les Illes Balears, 904 pp.
- SOCIB (2016): Algunos datos útiles sobre líneas de costa en les Illes Balears. Nota interna dl SOCIB, 8pp. Palma, SOCIB. Inédito.