

Las playas de Menorca: naturaleza y distribución

Lluís Gómez-Pujol^{1,2}, Montse Compa^{1,3}, Alejandro Orfila⁴, Amaya Álvarez-Ellacuría¹, Pau Balaguer¹, Francesc X. Roig-Munar⁵, Joan J. Fornós² y Joaquim Tintoré^{1,4}

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

² Grup de Ciències de la Terra "Geologia i Paleontologia Guillem Colom". Universitat de les Illes Balears, Palma.

³ Centre Oceanogràfic de les Balears, Instituto Español de Oceanografía, Palma.

⁴ Instituto Mediterráneo de Estudios Avanzados, IMEDEA (CSIC-UIB), Esporles.

⁵ Q4atre Consultoria Ambiental, Es Migjorn Gran.

RESUMEN

La costa de Menorca acoge 114 sistemas de playa que representan el 9,9% de la línea de costa de Menorca. Ubicadas en un ambiente micromareal y expuestas a oleajes que raras veces superan los 3m de altura significativa, la mayoría de las playas menorquinas se caracterizan por presentar arenas biogénicas de medias a gruesas, estando su distribución y naturaleza condicionadas, principalmente, por el contexto morfoestructural de la isla. Tanto en lo tocante a la configuración fisiográfica de las playas y su espacio de acomodación como a la naturaleza y tipología del sedimento. En general, la tasa de evolución media de las playas de Menorca no presenta grandes problemas y se caracteriza por la estabilidad, una estabilidad reforzada por el carácter protegido o semi-protegido de las ensenadas que acogen a las playas o porque las playas más expuestas coinciden las acumulaciones de cantos y bloques al pie de acantilados.

Palabras clave: *playas, sedimento biogénico, control geológico, evolución de la línea de costa*

ABSTRACT

The Menorcan coast contains 114 beach systems, which occupy 9,9% of the coastline. Menorcan beaches are characterized by a microtidal and a moderate wave energy environment where, at annual scale, in few occasions significant wave heights attend values larger than 3m. Biogenic medium to coarse sands beaches are the dominant feature, although the island morphostructure controls both: the type of beach and the sediment nature and/or texture. In average, the shoreline change rate for the island beaches shows a stability scenario reinforced by the large number of embayed and pocket beaches along the Menorcan coast. The beaches exposed to the most energetic waves tend show cobble-boulder beaches at the cliff-toe.

Keywords: *beach systems, biogenous sediment, geological control, shoreline change*

1 | Introducción

El dominio abrumador de las costas rocosas a lo largo del perímetro litoral de la isla de Menorca –alcanzando el 65% de su línea de costa– queda interrumpido, puntualmente, por la presencia de numerosas ensenadas que cobijan alrededor de 150 playas. Dichas playas llegan a sumar 36,7 km de recorrido, apenas un 9,9% de la costa de la menor de las Gimnesias. En su mayoría se trata de playas arenosas, aunque no faltan las playas de bloques o los conjuntos de playa-restinga. No obstante, a pesar del interés paisajístico y turístico del litoral de Menorca, sus playas no han merecido el interés de la comunidad científica hasta tiempos muy recientes. La aproximación a su caracterización y/o estudio se ha desarrollado, básicamente, desde enfoques centrados en la gestión litoral, quedando en un segundo término los aspectos evolutivos o de morfodinámica. De hecho, más allá de unos breves comentarios o de algunas referencias en las geografías descriptivas de Baulies (1967) y de Rosselló (1977), o más allá del contexto geológico de la tesis de doctorado de Borrouilh (1983), o el de los capítulos correspondientes a la Geografía Física y Geología de la Enciclopedia de Menorca (Obrador y Mercadal, 1979) apenas hay trabajos que ahonden en las playas menorquinas. Descontando el repaso de los accidentes del litoral menorquín (Rosselló, 2003; Rosselló, 2004), publicado en una de las monografías más completas

sobre la geomorfología de la isla (Fornós *et al.*, 2004), los antecedentes al conocimiento geomórfico-sedimentológico de las playas de Menorca hay que buscarlos en el trabajo de Fornós y Forteza (1993). Dicha contribución, a propósito de la sedimentología de la playa y del cordón dunar de la Albufera des Grau, constituye la primera aportación moderna a los trabajos de dinámica y/o sedimentología de las playas de Menorca. A partir de este hito, no será hasta finales de la década de los noventa cuando aparezcan nuevas aportaciones vinculadas a las actividades de investigación y trabajos de consultoría de Francesc X. Roig-Munar, así como a las de los investigadores del Departamento de Ciencias de la Tierra de la Universitat de les Illes Balears, del IMEDEA (CSIC) y del SOCIB (e.g. Roig-Munar, 2010; Gómez-Pujol *et al.*, 2013a y 2013b). En 2011 se producirá un cambio sustancial en este panorama, puesto que se instala la primera estación de videomonitorización costera y arranca un programa semestral de topo-batimetrías y muestreos de sedimento en Son Bou (Tintoré *et al.*, 2013). En este contexto, el objetivo del presente trabajo es revisar el estado del conocimiento actual de las playas menorquinas y reflexionar sobre los condicionantes, la evolución y los elementos dinámicos que las caracterizan.

2 | El contexto de las playas menorquinas

Marco fisiográfico y contexto geológico

A título de inventario y una vez descontado el perímetro litoral interior de las albuferas o de las zonas húmedas costeras, así como de las bateas que entran en el cómputo global del Atlas de Sensibilidad Ambiental Costero de las Islas Baleares, elaborado sobre la cartografía 1:5.000 del Govern Balear (Balaguer *et al.*, 2015), la isla de Menorca acoge 36,7 km de playas (Fig. 1). Cabe citar aquí que se entiende por playa –a *grosso modo*– el acúmulo de materiales sedimentarios detríticos en la línea de costa, principalmente trabajados y transportados por el oleaje. Por tanto, quedan englobadas en dicha categoría playas de cantos y bloques, así como las consabidas playas arenosas. De hecho las playas suponen un escaso 9,9% del perímetro litoral Menorca (Tabla 1), siendo más frecuentes las playas arenosas, que integran un 5,5% de la línea de costa, a las que siguen las playas de cantos, con apenas un 2% del litoral de la isla. Finalmente, el 1,3% de playas se corresponde con restingas que a modo de cordón separan a las albuferas del mar abierto.

Tipología de costa	Menorca		Tramuntana		Migjorn	
	km	%	km	%	km	%
Costas rocosas	239,85	65,0	124,89	60,3	114,97	71,0
<i>Costas rocosas altas</i>	220,85	59,8	113,09	54,6	107,76	66,5
<i>Costas rocosas bajas</i>	19,00	5,2	11,80	5,7	7,20	4,4
Playas	36,70	9,9	27,15	13,1	9,55	5,9
<i>Playas arenosas</i>	20,24	5,5	13,02	6,3	7,22	4,5
<i>Playas mixtas</i>	3,63	1,0	3,43	1,7	0,19	0,1
<i>Playas de cantos</i>	7,86	2,1	7,54	3,6	0,32	0,2
<i>Restingas</i>	4,97	1,3	3,15	1,5	1,83	1,1
Costa artificial	92,65	25,1	55,19	26,6	37,41	23,31

Tabla 1. Tipología de costa de Menorca a partir de las categorías del Atlas de Sensibilidad Ambiental Costero de las Islas Baleares (Balaguer *et al.*, 2015).

Table 1. Menorcan coast type extension according to the Balearic Islands Environmental Sensitivity Coastal Atlas (Balaguer *et al.*, 2015).

Pero la distribución de las playas a lo largo de la costa de Menorca no es, ni de lejos, homogénea. Atendiendo a la naturaleza del roquedo y al control estructural que condiciona la geomorfología litoral de la isla y la divide en dos regiones o dominios geomórficos (vid. Pons y Gómez-Pujol, 2003), nos encontramos con una mitad septentrional, *Tramuntana*, en la que se alternan roquedos silíceos y carbonatados, intensamente fallados y plegados, de edades que van desde el Paleozoico al Mesozoico (Fornós y Obrador, 2003). Del perímetro litoral del norte de Menorca, 27,15 km, un 13,1%, de su línea de costa son playas (Tabla 1). Casi tres veces más que el espacio que ocupan las playas en la mitad meridional de la isla (5,9%, 9,55 km); en un *Migjorn* en el que afloran los materiales carbonatados postorogénicos del Mioceno superior (Obrador y Pomar, 2004).

La *Tramuntana* se caracteriza por un litoral muy articulado, a razón de la alternancia de litologías, la fracturación y el control estructural que facilitan la penetración del mar y la erosión diferencial de la costa. La presencia de un conjunto de fallas direccionales WNW-ESE y de un sistema de cabalgamientos y pliegues que en superficie presentan una dirección NE-SW, y en ocasiones NW-SE, producto de dos fases compresivas (Gelabert, 2003), explica el desarrollo de las grandes ensenadas del norte de la isla, aprovechando los flancos de cabalgamiento, las fallas o la alternancia de materiales resistentes y frágiles. Los mismos condicionantes se repiten a lo largo de la costa, aunque a menor escala, resultando en numerosas bahías de dimensiones mo-

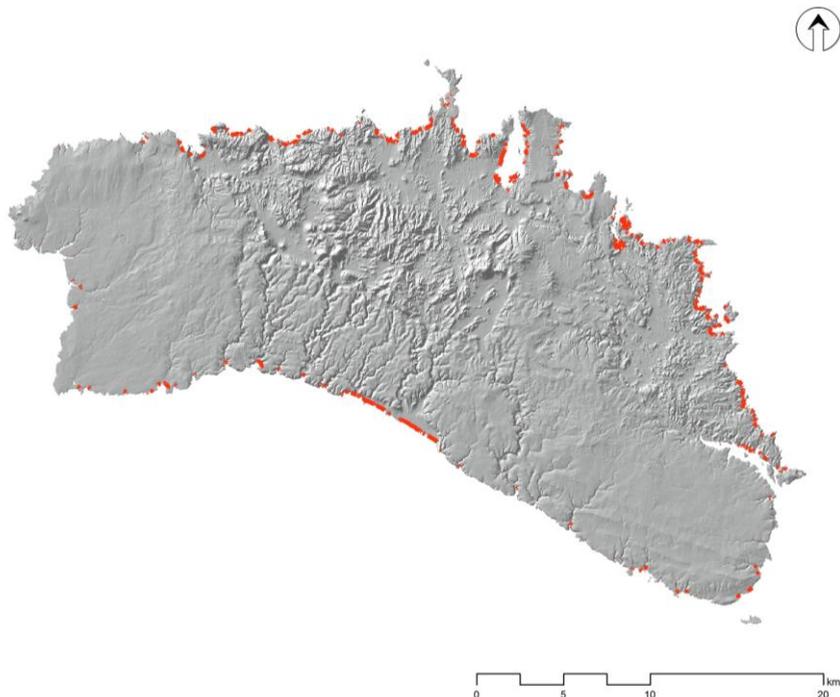


Figura 1. Localización de las playas de Menorca (en rojo) a partir de las categorías del Atlas de Sensibilidad Ambiental Costero de las Islas Baleares (Balaguer *et al.*, 2015).

Figure 1. Location of Menorcan beaches (in red) according to the Balearic Islands Environmental Sensitivity Coastal Atlas (Balaguer *et al.*, 2015).

destas que acogen a la mayoría de playas de cantos, así como las playas arenosas o restingas, entre las que cabe citar la de la Albufera des Grau. La naturaleza del roquedo y la abundancia de las costas acantiladas, justifican que sea en la *Tramuntana* donde se encuentra casi la totalidad de playas de cantos (Tabla 1). Los materiales del *Migjorn* son calcarenitas y calcilitas que en su proceso de alteración y desmantelamiento apenas dan materiales gruesos y de entidad; todo ello resultando tanto en la ausencia de playas de cantos, como en la ausencias de formas secundarias –barras fluviales– en los cauces de los barrancos (Fornós y Segura, 2004; Segura *et al.*, 2007). Rossell y Llompart (2002, p. 61) sugieren, a título de curiosidad lingüística o etnográfica, que el local distingue las playas de cantos entre *macars* y *codolars*. Un *macar* sería una playa formada por *macs*, cantos y bloques de aristas suaves aspecto esférico, más o menos isométricos, mientras que un *codolar* sería una playa de cantos donde cantos y bloques son angulosos y dominan las formas planas. No obstante, no son anecdóticos los casos que se escapan del modelo y otros lingüistas tienden a considerar ambos términos como genéricos de igual significado (*com. pers.* J. F. López Casanovas) pese al predominio de los *codolars* en la costa occidental de *Tramuntana* y el de los *macars* en la oriental.

En contraste con la *Tramuntana*, el *Migjorn* de Menorca se caracteriza por un litoral con una marcada componente rectilínea y naturaleza acantilada. Su condición de plataforma –planicie– estructural mantiene una cota topográfica en torno a los 50 m hasta casi la misma línea de costa. La mayoría de los accidentes costeros de este sector tienen un control tectónico (Rosselló, 2004), ligeramente matizado por el retoque cárstico (Fornós, 2004). La geometría rectilínea y acantilada de la costa meridional sólo interrumpe por la presencia puntual de las desembocaduras de los barrancos que, en la mayoría de los casos, acogen en su interior pintorescas playas arenosas. La monotonía del acantilado también se ve interrumpida en el sector central del *Migjorn* donde los acantilados retranquean, en un tramo de costa que cubre de Binigaus a Son Bou, dando paso a largas playas lineales asociadas a cordones dunares y zonas húmedas. Gelabert *et al.* (2005) han definido el *Migjorn* como un anticlinal laxo, producto de una falla inversa NNW-SSW en la parte central de la unidad y de la isla. El sistema de fracturación de esta unidad, en la que dominan las orientaciones E-W en los flancos oriental y occidental, y N-S en el central controla el trazado de los barrancos y por tanto la presencia de las calas y su respectivas playas arenosas. Segura *et al.* (1999) atribuyen a un accidente estructural el retranqueo de los acantilados entre 500-800 m tierra adentro en la zona de Son Bou, donde una falla rotacional genera el espacio de acomodación para el desarrollo de una albufera y una restinga. Es precisamente en este sector central del sur de Menorca en el que se encuentran el conjunto de alineaciones de playas arenosas de mayor extensión de la isla.

Nivel del mar y oleaje

Menorca experimenta un régimen micromareal. Los datos del mareógrafo del puerto de Maó (Puertos del Estado, 2017) apenas registran variaciones medias de 10 o 15 cm respecto del nivel medio del mar, aunque ocasionalmente, y asociadas al paso de altas y bajas presiones atmosféricas, el nivel del mar puede llegar a desplazarse 40 cm respecto del nivel medio. La serie temporal de máximos y mínimos mensuales de nivel del mar en Maó, con la que se cuenta desde 2009, registra el evento de máximo ascenso en octubre de 2012, con 48 cm por encima del nivel medio del mar, mientras

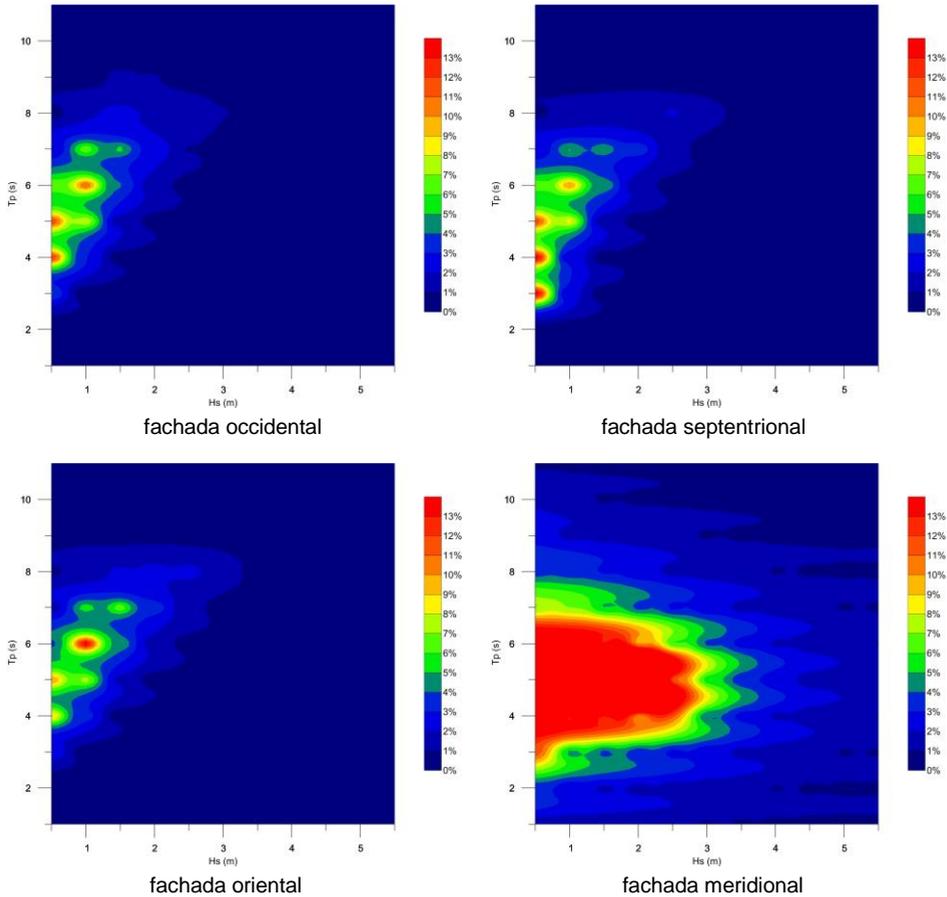


Figura 2. Distribución conjunta, en %, de altura de ola significativa (H_s) y periodo de pico (T_p) para puntos representativos de las fachadas marítimas de Menorca a partir de datos SIMAR, 1958-2017, de Puertos del Estado.

Figure 2. Joint distribution of significant wave height (H_s) and the period (T_p), in %, for a selected points for each one of the Menorca marine facades. Data from SIMAR database, 1958-2017, Puertos del Estado.

que el mínimo mensual aconteció en abril de 2010 con 46 cm por debajo del nivel medio del mar.

El litoral de Menorca, como el Mediterráneo occidental, se caracteriza por un clima de oleaje complejo, con unos atributos que lo definen como torrencial (Sánchez-Arcilla *et al.*, 2008). Su localización en el extremo septentrional del Promontorio Balear la condiciona de manera que durante los meses de invierno la costa septentrional sufre la acción de los fuertes temporales de norte provenientes del Golfo de León, mientras que en verano la intensidad del oleaje aminora (Cañellas, 2010). En el norte y noreste de la isla, las alturas de ola significativa en más del 50% de los casos quedan entre 0,5 y 1 m y los periodos de pico asociados entre 4 y 6 s (Puertos del Estado, 2017). La componente norte aglutina un 27% de la procedencia del oleaje, seguido de la componente NE (Figs. 2 y 3).

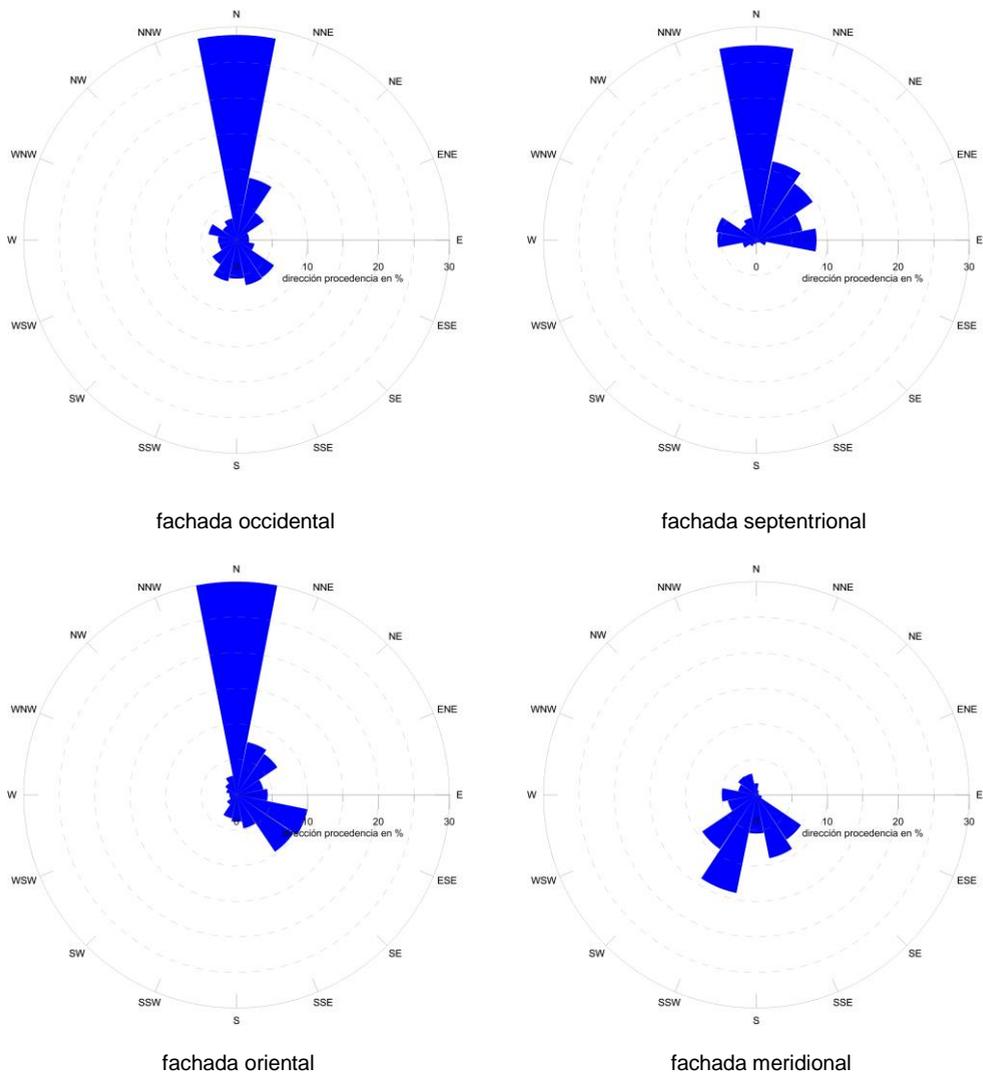


Figura 3. Dirección de oleaje para puntos representativos de las fachadas marítimas de Menorca a partir de datos SIMAR, 1958-2017, de Puertos del Estado.

Figure 3. Wave rose direction for a selected points for each one of the Menorca marine facades. Data from SIMAR database, 1958-2017, Puertos del Estado.

Las calmas llegan al 13%. Un 2% de los eventos procedentes del norte alcanzan alturas significantes de 3 m y, aunque puntuales, no son raros a escala interanual eventos con altura de ola significativa de 5 m o ligeramente superior. Las cartografía de la energía del oleaje de Ponce de León y Orfila (2016) pone de manifiesto como esos temporales afectan a toda la costa norte y el canal de Menorca así como refractados también inciden, aunque con menor energía, sobre el litoral de levante de la isla.

En la costa meridional los oleajes provenientes del suroeste y del sureste son menos energéticos: alturas de ola significativa en casi un 70% de los casos por debajo de 0,5 m y periodos de pico asociados entre 4 y 5 s (Fig. 2 y 3). Aunque en las configuraciones más energéticas de lebeche pueden llegar a alcanzar los 3 m e incluso los 4 m de altura significativa durante los meses de invierno. En el sur de la isla, mientras que en invierno dominan los oleajes de SSW y SW, en verano ceden algo de protagonismo a los de SSE y SE, que pueden alcanzar el 10% de los eventos. Según la serie SIMAR (1958-2017) de Puertos del Estado, el máximo alcanzado en la costa septentrional de la isla son los 8.5 m en mar abierto de enero de 2015, mientras que en la costa meridional el máximo aconteció en octubre de 2008 con 5,5 m de altura de ola significativa.

El sedimento

Las playas de Menorca están compuestas predominantemente por arenas de medias a gruesas (2 a 0 phi) moderadamente clasificadas, siendo el calibre medio para el conjunto de las 64 playas caracterizadas por Gómez-Pujol *et al.* (2013) de $1,28 \pm 0,81$ phi. Cala Pregonda (*Tramuntana*), expuesta a los oleajes energéticos del norte de la isla, es la playa arenosa con un calibre más grueso, $-0,16 \pm 0,02$ phi, mientras que Cala des Degollador (*Migjorn*), una playa encajada y resguardada de los oleajes energéticos, es la playa de arenas más finas, $3,87 \pm 0,04$ phi. En cuanto a su textura, en términos agregados, el sedimento de playa es principalmente arenoso (95,1%), con una proporción mayor de gravas (4%) que de finos (0.9%) y una clasificación entre moderadamente clasificada (35,9% de las playas) a bien clasificada (32,8% de las playas). Vale la pena constatar que la clasificación disminuye proporcionalmente al número de bioclastos presentes en el sedimento. De hecho uno de los elementos que llama la atención, en el caso de las playas menorquinas, es la naturaleza del sedimento. En términos medios, el 78,4% del sedimento de playa lo integran granos que son fragmentos de algas coralíneas, briozoos, foraminíferos, bivalvos, gasterópodos y otros restos esqueléticos. No obstante, la proporción de bioclastos varía de una playa a otra y de un dominio geomórfico a otro. Oscilando del 9 al 99.4% su contribución al volumen de sedimento. En cuanto a la composición media del sedimento de playas para Menorca, en comparación con los fragmentos esqueléticos biogénicos, los litoclastos (27%) y el cuarzo (6,1%) son componentes subordinados. Llegados a este punto, vale la pena destacar que los cursos fluviales de la isla tienen un carácter intermitente y una capacidad de transporte mínima asociada a precipitaciones esporádicas e inundaciones (Segura *et al.*, 2007). Buena parte de los elementos terrígenos del sedimento de las playas proceden del desmantelamiento de los acantilados.

El sedimento de las playas de Migjorn tiende a ser en promedio más fino que el de Tramuntana, $1,51 \pm 0,76$ phi y $1,19 \pm 0,79$ respectivamente (Tabla 2). Mientras que desde el punto de vista composicional, en la mitad meridional de la islas el sedimento de las playas presenta un porcentaje mayor de bioclastos que en las playas del Tramuntana, 88,4% vs. 71,3% (Tabla 3).

En base a la textura y composición del sedimento Gómez-Pujol *et al.* (2013) han diferenciado 3 facies principales de sedimento, de las cuales dos pueden subdividirse en sendas subfacies. Así en la Figura 4 puede apreciarse la distribución de las playas de *Arenas medias biogénicas*, en las que el atributo característico es una elevada presencia de bioclastos (ca. 90%) y que pueden separarse en *Arenas medias biogénicas*

ricas en foraminíferos y en Arenas medias biogénicas ricas en bivalvos y algas coralíneas. Básicamente, se trata de playas localizadas en el sur de la isla o en localidades del norte protegidas de la acción de los eventos más energéticos y en contextos en los que la plataforma litoral se ensancha y el desarrollo de las comunidades de *Posidonia oceanica* es notable. Una segunda facies es la de las Arenas de medias a gruesas biogénicas con terrígenos (Fig. 4). Se trata de sedimentos en los que aunque hay una presencia significativa de bioclastos, el peso de los componentes terrígenos se incrementa notablemente (ca. 20%). Una subfacies particular, dentro de la categoría de las arenas mixtas de Menorca, son las Arenas medias biogénicas con cuarzo (Fig. 4). Si para el conjunto del Migjorn la fracción de cuarzo en el sedimento no supera el 5%, hay un grupo de playas localizadas en el sector central que superan un contenido en cuarzo del 10%. Gómez-Pujol *et al.* (2004) han sugerido que esa anomalía se debe a dos factores: por un lado, la presencia de un nivel rico en cuarzo en la Unidad Inferior de Barras del Mioceno Superior, que aflora en dicho sector; y por otro lado, el origen terrígeno de esta fracción del sedimento, puesto que las playas en las que aparece están a cobijo de calas cuyos barrancos han capturado, en cabecera, el dominio geomórfico de la Tramuntana, donde afloran roquedos silíceos. Finalmente, la última facies es la correspondiente a aquellas Arenas gruesas a muy gruesas terríge-

	Tramuntana			Migjorn		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
D ₅₀ (phi)	1,19	2,92	-0,16	1,51	3,87	0,02
Clasificación (phi)	0,83	0,44	1,34	0,82	0,44	1,59
Skw	-0,14	-0,45	0,24	-0,08	-0,31	0,24
Kg	1,01	0,74	1,66	1,04	0,79	1,50
% Gravas	5,1	0,0	21,0	2,5	0,0	15,8
% Arenas	94,6	79,0	100,0	95,7	53,8	100,0
% Finos	0,3	0,0	2,5	1,8	0,0	44,4

Tabla 2. Parámetros texturales del sedimento de playa de Menorca por dominios geomórficos. Skw: asimetría; Kg: curtosis.

Table 2. Menorca beach sediments grain size and textural parameters for Tramuntana and Migjorn geomorphic regions. Skw: skewness; Kg: kurtosis.

% sedimento	Tramuntana			Migjorn		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
Cuarzo	2,9	0	27,3	5,8	0	19
Litoclastos	25,4	0	71,2	5,3	0	21,4
Foraminíferos	3,4	0	24,1	4,7	0,1	19,4
Bivalvos	5,2	0	17	5,1	0	21,9
Gasterópodos	2,4	0	15,1	4,1	0,1	11,4
Briozoos	2,2	0	20,5	2,7	0	12,5
Rodofceas	5,9	0	31,8	11	0	41,0
Equinodermos	1,6	0	6,4	2,7	0,1	7,4
Serpúlidos	0,4	0	4,4	0,7	0	7
Ostrácodos	0,4	0	2,7	0,4	0	2,3
Espículas esponja	0,5	0	11,6	0,2	0	1,8
Bioclasto indeter.	49,3	9	76,7	56,9	17,8	81,6
Otros	0,4	0	6,1	0,5	0	4,2

Tabla 3. Composición del sedimento de playa de Menorca.

Table 3. Menorca beach sediments composition.

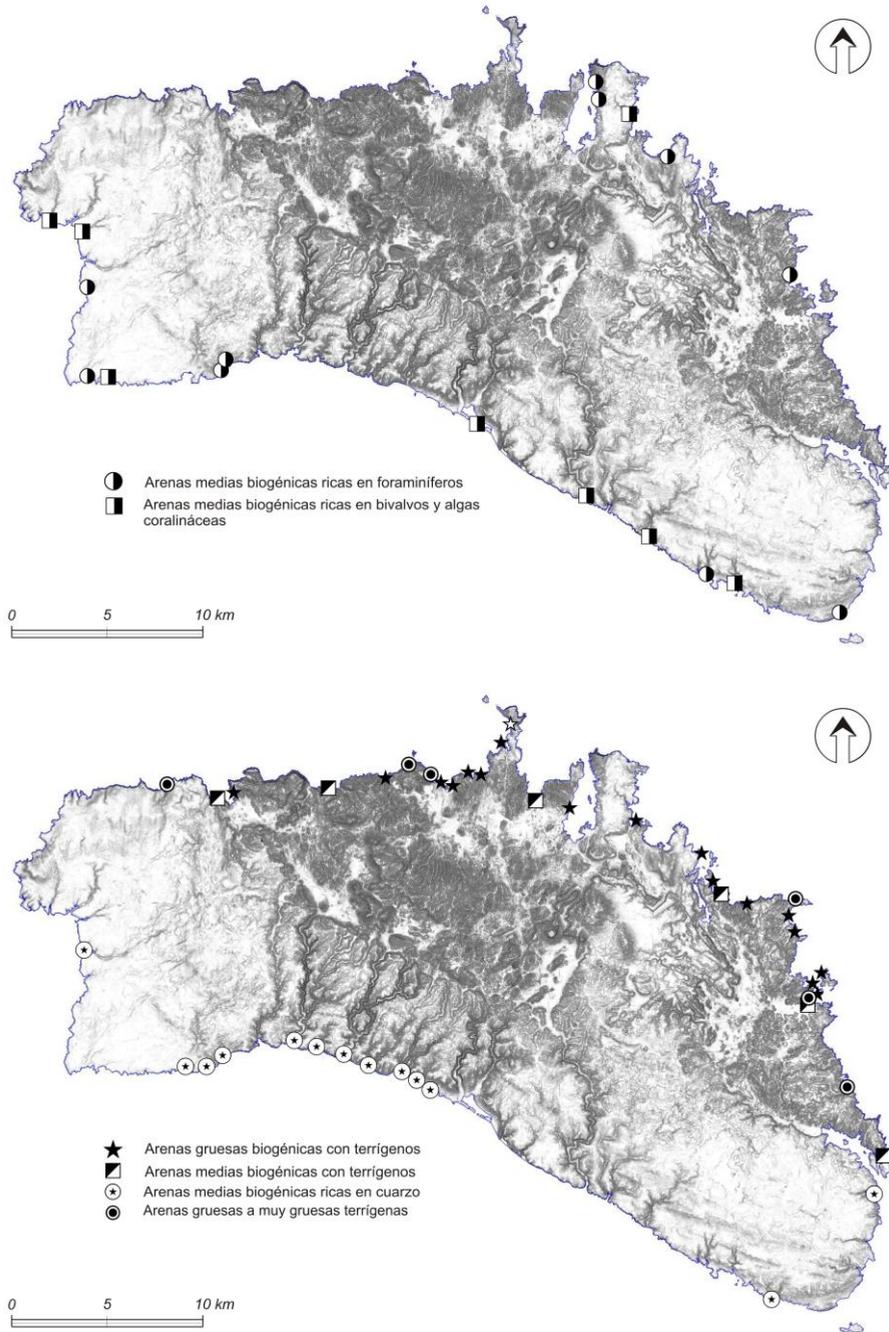


Figura 4. Distribución espacial de las facies del sedimento de playa de Menorca.
Figure 4. Spatial distribution of Menorcan beach sediment facies.

nas (Fig. 4) y que están formadas por arenas en las que la fracción de bioclastos apenas alcanza el 25% del volumen del sedimento. Su distribución está restringida al norte de la isla, en la región de *Tramuntana*, en playas expuestas al oleaje más energético y ubicadas al pie de acantilados.

3 | Características generales, tipología y distribución

Los atributos básicos

Una vez esbozados los grandes condicionantes de las playas para la isla de Menorca, queda por revisar cuáles son sus características en cuanto a dimensiones y configuración fisiográfica. Partiendo de un criterio arbitrario por el que se considera como playa aquel acúmulo de sedimento en la costa por el oleaje con una extensión de más de 10 metros de longitud, un inventario sobre la ortofotografía de 2012 de Menorca arroja un total de 146 playas (Fig. 5). Tomando como referencia su extensión longitudinal a partir de la digitalización manual de la marca de agua, la playa menorquina, en términos medios, es de escaso recorrido. El 56,2% de las playas no supera los 50 m de longitud y tan solo el 4,8% de las playas sobrepasa los 500 m (Fig. 6). Sin duda, el control estructural y la herencia geológica, descritos en el apartado anterior, explican el rosario de pequeñas ensenadas y pequeñas calas que se traducen en recovecos con playas de escasa entidad. Especialmente llamativo es el caso del *Migjorn* de Menorca, pues aunque acoge las playas más largas de la isla –Son Bou con una longitud de 2,2 km, o Binigaus con 0,9 km– en la mayoría de casos, el 80,5%, las playas del sur apenas superan los 100 m de recorrido. Es más, el 51,2% queda por debajo de los 50 m de longitud (Fig. 6). El marcado control estructural de la línea de costa y la naturaleza acantilada del *Migjorn* explican el fenómeno, a la par que limitan la presencia de playas a la desembocadura de los barrancos –calas– que drenan el altiplano, la planicie estructural que define la mitad meridional de la isla. En cambio, la diversidad geológica de la mitad septentrional, así como un mayor grado de articulación, ayudan a explicar una distribución más heterogénea, un rango más amplio de longitudes de playa en el norte de la isla, aunque el 63,8% de las playas de *Tramuntana* tampoco superan los 100 m de recorrido (Fig. 6). Dos playas se disputan la preeminencia en cuanto a longitud en el norte de la isla, s’Arenal d’en Castell (0,69 km) y Macaret (0,78 km).

En cuanto al ancho de playa, para el conjunto de las playas de la isla (63,7%) apenas se alcanzan los 20 m de anchura media (Fig. 6). En la *Tramuntana* las playas son mucho más estrechas que en el *Migjorn*, la proximidad del acantilado o la exposición a los oleajes energéticos justificarían el escenario y que el 73,3% de las playas tengan anchuras medias, como mucho, de 20 m (Fig. 6). Mientras que en el *Migjorn*, el contexto fisiográfico de las calas, con las ensenadas alargadas y estrechas y con el efecto de los barrancos, acaban confiriendo playas que en un 51,2% de los casos alcanzan anchuras medias entre 20 y 40 m (Fig. 6).

Tipología de playas

Desde un punto de vista fisiográfico pueden separarse las playas de Menorca en cuatro grandes tipologías: las playas expuestas, las playa semi-encajadas, las playas encajadas –*pocket beaches*– y las playas protegidas en el interior de las grandes bahías. Descontadas éstas últimas, que tan sólo y a razón del control estructural única-

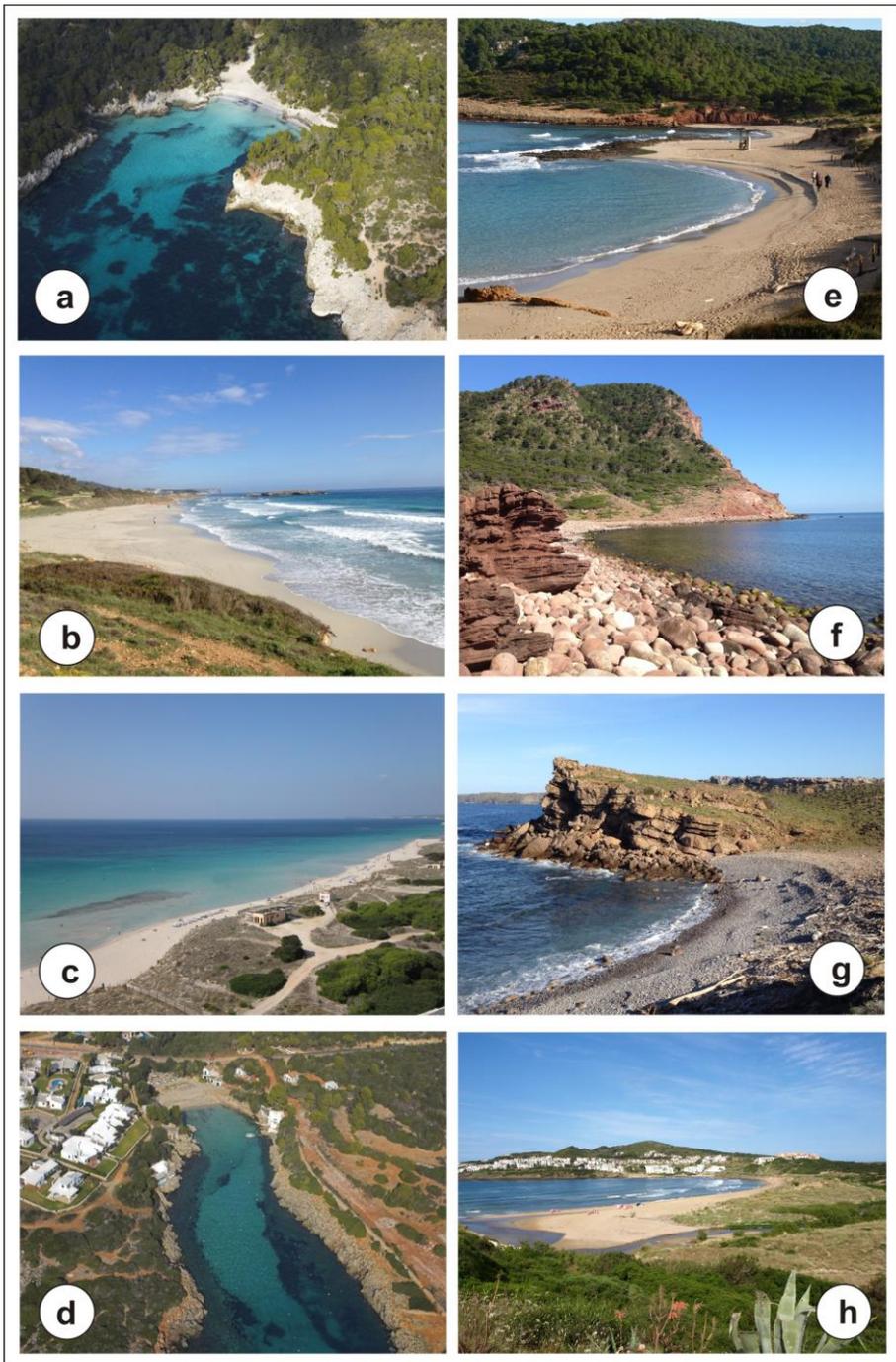
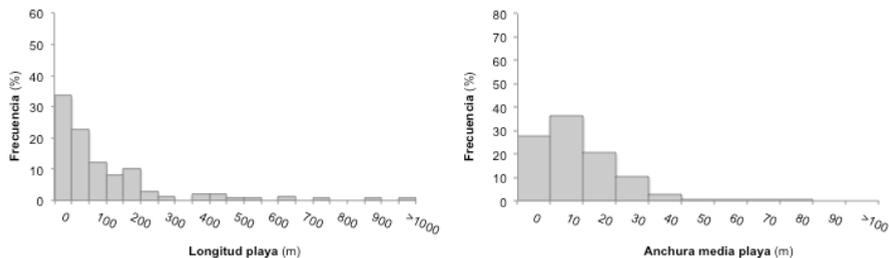
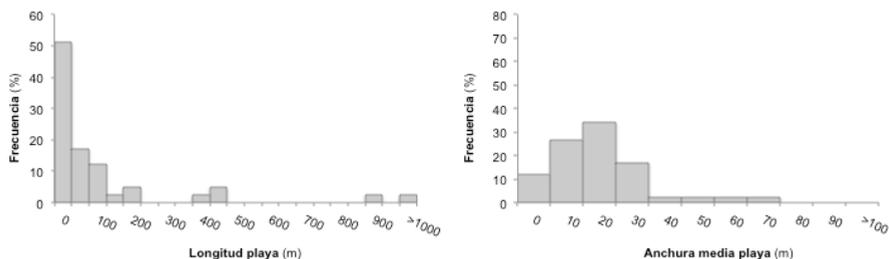


Figura 5. Ejemplos de playa en Migjorn (izquierda) y Tramuntana (derecha): a) Cala Turqueta. b) Binigaus; c) Son Bou, d) Binissafüller, e) Algaiarens, f) es Pla de Mar, g) Mongofre, h) Tirant.
Figure 5. Selected beaches at Migjorn (left) and Tramuntana (right). a) Cala Turqueta. b) Binigaus; c) Son Bou, d) Binissafüller, e) Algaiarens, f) es Pla de Mar, g) Mongofre, h) Tirant.

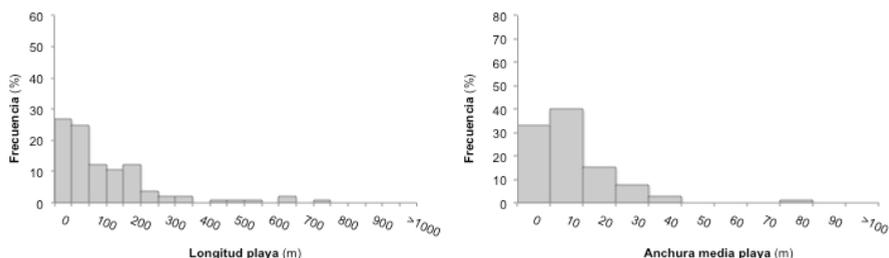
MENORCA



MIGJORN



TRAMUNTANA

**Figura 6.** Longitud y anchura media de las playas de Menorca.**Figure 6.** Menorcan beach length and width.

mente aparecen en el norte de la isla, el resto de tipologías de playa tienen una presencia para nada anecdótica en el conjunto de la isla (Fig. 7). No obstante si se separa la distribución de tipologías fisiográficas por dominios geomórficos, afloran diferencias sustanciales. De hecho, el papel relativo de las playas de escaso recorrido y ligeramente más anchas del Migjorn no puede desconectarse de la abundancia de la tipología de playas encajadas en este sector (Fig. 7). Playas en las que la apertura de la ensenada es menor que el recorrido y/o la profundidad suponen el 75% de las playas (Fig. 7), y casi en su totalidad, son ejemplos paradigmáticos de las arquetípicas calas del Mediterráneo occidental (Rosselló, 2005; Gómez-Pujol *et al.*, 2013; Furlani *et al.*, 2015).

En contraposición, el abanico de tipologías de la mitad septentrional, en las que hay un mayor peso de las bahías semi-expuestas (53%) –entendiendo por tales las que presentan una apertura de la ensenada mayor que su profundidad– tiene su traducción en un histograma de longitudes de playa más heterogéneo (Fig. 6).

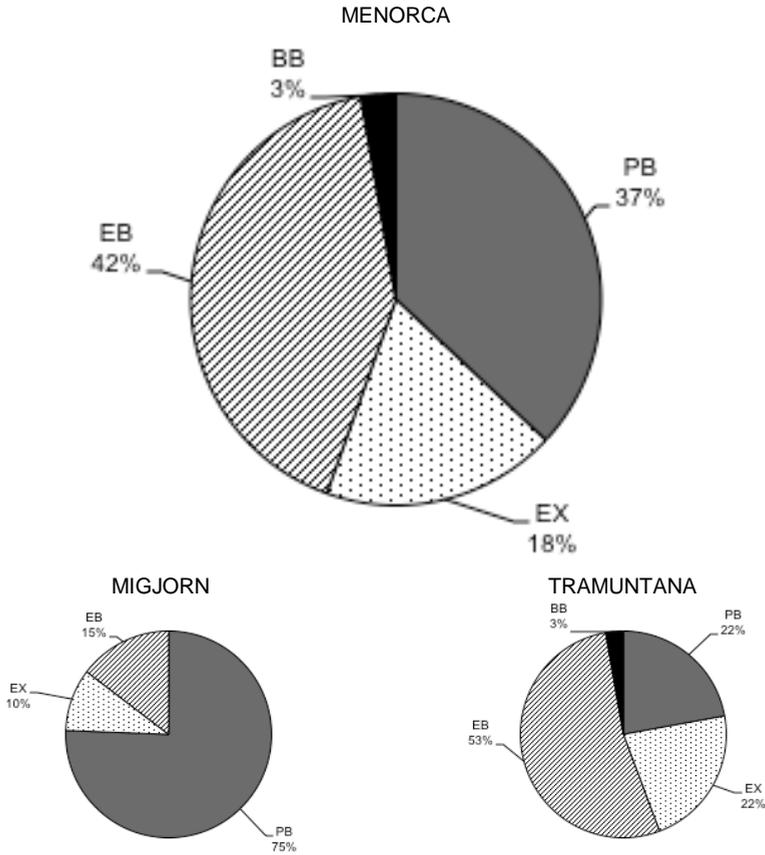


Figure 7. Contexto fisiográfico de las playas de Menorca. PB: playas encajadas; EX: playas expuestas; EB: playas semi-expuestas; BB: playas poco energéticas en el interior de grandes bahías.

Figura 7. Menorcan beaches physiography framework; PB: pocket beaches; EX: exposed beaches; EB: embayed beaches; BB: low energy big bays beaches.

Un mayor porcentaje de playas expuestas (22% en Tramuntana vs. 10% en Migjorn; Fig. 7) –clasificando como tales aquellas playas que no están a cobijo de ningún accidente geográfico y por tanto más expuestas a los oleajes energéticos del norte– contribuirían a explicar el porqué de un conjunto de playas más estrechas en la región septentrional de la isla. Lo que juntamente con la naturaleza del roquedo también justificaría porque es en la mitad septentrional de Menorca donde encontramos la totalidad de playas de gravas, cantos y bloques (Fig. 8).

4 | Evolución reciente de las playas de Menorca

La principal característica de las playas menorquinas es su dinamismo. Con el objeto de evaluar su tendencia evolutiva se ha digitalizado la marca de agua a modo de

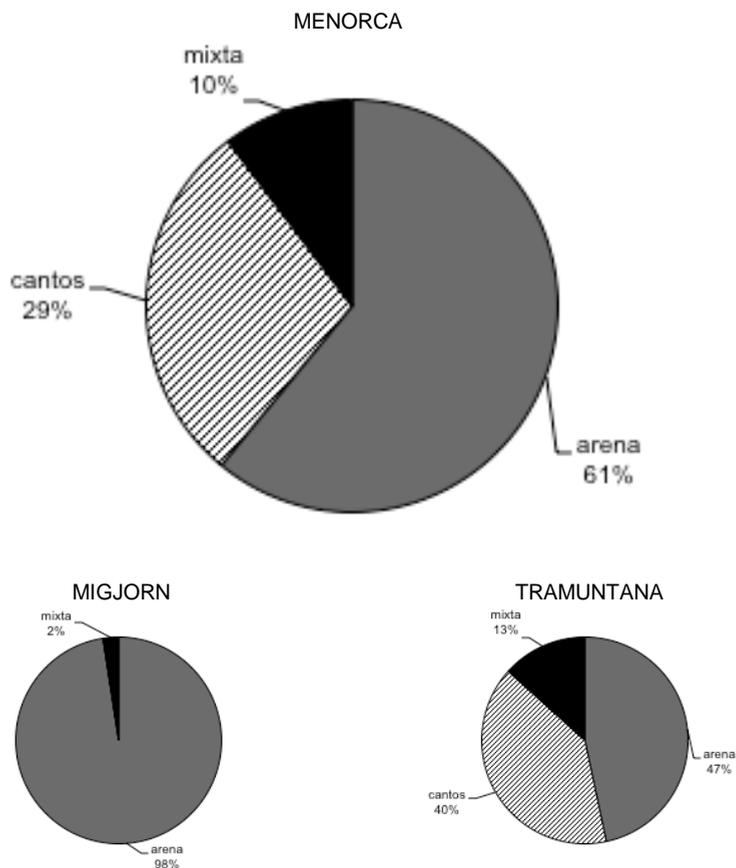


Figura 8. Tipología de playas de Menorca en función del tipo de sedimento.
Figure 8. Menorcan beaches types according to the sediment characteristics.

indicador de la línea de costa (Ojeda, 2000; Boak y Turner, 2005) a partir de la ortofotografía disponible en el *Servei d'Informació Territorial de les Illes Balears* (SITIBSA), para los años 2002, 2004, 2008, 2006, 2010 y 2012, todas ellas con una resolución de píxel que oscila de 25 a 50 cm. La selección del periodo de análisis tiene su razón de ser en el hecho que durante la década 2002-2012 no se han producido acciones de regeneración artificial de playas y en que las intervenciones de gestión de costas han consistido principalmente en la restauración del cordón dunar. Por tanto, la evolución caracterizada representa básicamente el resultado de la acción de la dinámica natural en las condiciones actuales. A continuación se utilizó la herramienta *Digital Shoreline Analysis* (Thieler *et al.*, 2009) con la que se obtuvieron diferentes indicadores como son la anchura de la playa y la tendencia lineal de erosión (LRR, *Linear-Regression Rate*) en transectos trazados cada 20 m a lo largo de la playa.

La figura 10 muestra el histograma de las tasas de evolución media de la línea de costa en las playas analizadas a lo largo del litoral de Menorca y en la Tabla 5 los valores agregados obtenidos para el conjunto de la isla, así como para cada uno de los dominios geomórficos en que se divide la isla. Los resultados apuntan a un escenario

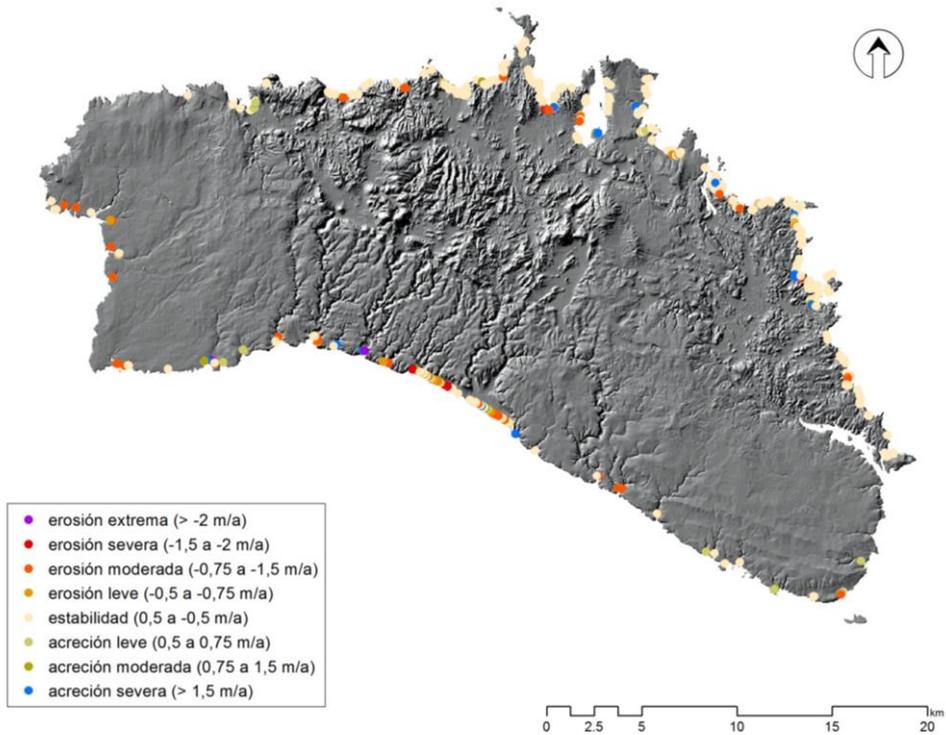


Figura 9. Evolución de la línea de costa de las playas de Menorca, 2000–2012.

Figure 9. Menorcan beaches shoreline change rates, 2002-2012.

Ámbito geográfico	Promedio	SD	Mínimo	Máximo	N
Menorca	-0.07	0.5	-1.67	2.86	146
Tramuntana	-0.03	0.4	-1.39	1.61	105
Migjorn	-0.18	0.8	-1.67	2.86	41

Tabla 5. Evolución agregada de la línea de costa para las playas de Menorca, 2000–2012.

Table 5. Averaged Menorcan beaches shoreline change rates, 2002-2012.

en el que las playas arenosas de la isla de Menorca están experimentando una fase de estabilidad (Fig. 9 y 10). El 78,1% de las playas caracterizadas presentan una evolución media de cambio de la línea de costa entre -0,5 y 0,5 m/a. Un 14,4% de las playas experimenta procesos de erosión, que aunque habitualmente son de leves a moderados (-0,5 a -1,5 m/a) y algunas playas alcanzan máximos de -1,67 m/a (Fig. 9). Por otro lado sólo el 7,5% de las playas ha experimentado durante el periodo de estudio un avance de la línea de costa.

Por dominios geomórficos (Fig. 10) puede apreciarse que las playas del norte de la isla presentan una mayor estabilidad (87,6% en Tramuntana vs. 51,2% en Migjorn) pese a lo energético de la fachada septentrional. Debe considerarse que las playas de gravas y bloques, que en su práctica totalidad se encuentran en el Norte, destacan por presentar cierta variabilidad interanual, pero que en términos agregados, para el

periodo temporal caracterizado, se mantienen dentro de los rangos de cambio de la línea de costa considerados como de estabilidad. Otro de los fenómenos habituales en la costa norte es el de la rotación o basculamiento de la playa en los casos de playas semi-encajadas o encajadas, como sucede en s'Arenal d'en Castell o la Platja des Savinar. En esta tipología de playas las tasas de acreción en un extremo de la playa quedan compensadas por las de retroceso en el otro. En cualquier caso, el 7,6% de las playas del norte experimenta tasas de retroceso de la línea de costa, mientras el 4,8% lo hace en sentido contrario, principalmente la progradación de la playa alta se da en playas resguardadas de las componentes de norte y noroeste (i.e. Es Grau o Cala Rambla).

En cuanto al comportamiento de las playas del Migjorn (Fig. 10), el panorama presenta una mayor variabilidad, aunque en términos medios el 51,2% de las playas se encuentra en un rango de tasas de evolución media dentro de la estabilidad. Si bien es cierto que el 31,7% de las playas de este sector presenta tasas de retroceso de la línea de costa entre -0,5 y 1.5 m y que junto con Cala Escorxada (-1,67 m/a), las playas encajadas del sector de Ciutadella y el tramo Binigaus-Sant Tomàs engloban aquellas playas con mayores problemas de erosión. Casi un 16,1% de las playas del Migjorn

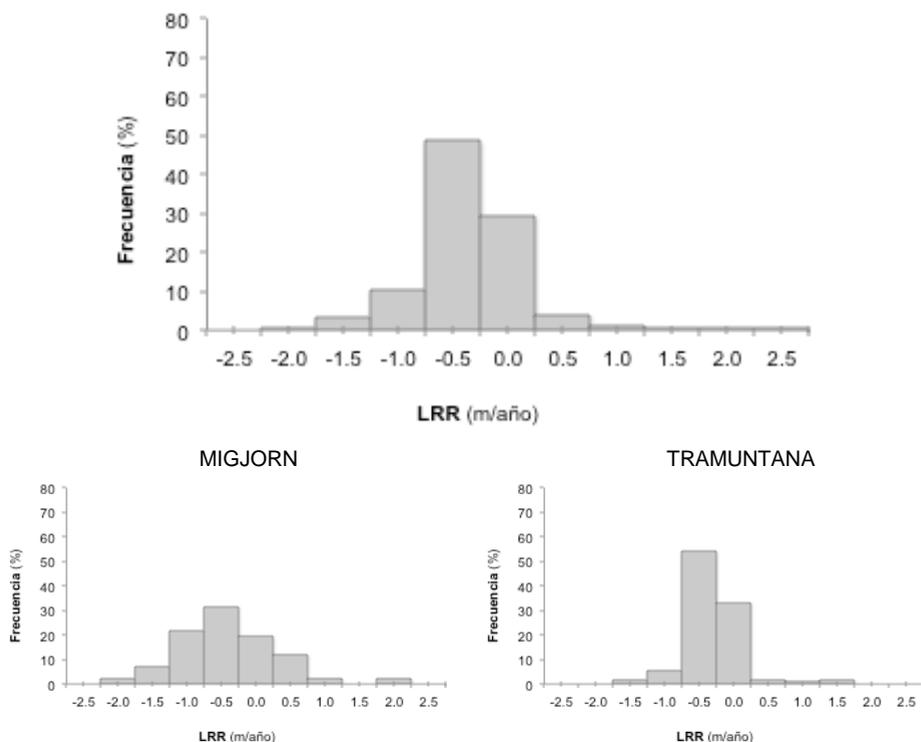


Figura 10. Tasas de cambio (LRR) de la línea de costa de las playas de Menorca, 2000-2012, por dominios geomórficos.

Figure 10. Menorcan beaches shoreline change trend rate (LRR), 2000-2012, at the different geomorphic domains.

destacan por presentar un avance en sus líneas de costa, bien porque se recuperan de los efectos de los temporales extremos de noviembre de 2001, bien porque por la dinámica de los barrancos favorece el empuje de la barra de cierre mar adentro (i.e. Cala Mitjana o Cala Llucalari).

5 | Conclusiones

Del inventario y caracterización de las playas menorquinas y de su descripción en términos de contexto fisiográfico, sedimentológico y sus tasas de evolución de la línea de costa, pueden destacarse varios aspectos entre los que resalta en primer lugar la importancia del control geológico, tanto en la distribución como en la tipología de playas. La naturaleza del roquedo no sólo condiciona el desarrollo de las redes fluviales y de la articulación de la línea de costa, sino que por extensión y dado el carácter torrencial y la escasa competencia de la red fluvial, explica la reducida componente terrígena y siliclástica del sedimento de las playas menorquinas. Especialmente en el caso del *Migjorn* se traduce en la existencia de playas encajadas –calas– y en *Tramuntana* en la concentración de las playas de cantos. Con todo, destaca la importancia del sedimento biogénico que confiere a las playas menorquinas su característico color blanquecino y transparencia de las aguas dada la escasez de la fracción fina.

En paralelo, lo articulado del litoral se traduce en la existencia de múltiples células litorales, que sólo adquieren cierta complejidad en las playas lineales que, como consecuencia del control estructural, se han desarrollado en el sector central del sur de la isla y que presentan los casos más severos, en el contexto regional de la isla, de retranqueo o variabilidad de la línea de costa.

En general, la tasa de evolución media de las playas para el conjunto de Menorca no presenta grandes problemas y se caracterizan por la estabilidad; si bien es cierto que en el *Migjorn* pese a las condiciones fisiográficas hay algunas playas que presentan tendencias regresivas y merecerían un estudio en detalle que va más allá del carácter general de este panorama general. Una estabilidad reforzada por el carácter protegido o semi-protegido de las ensenadas que acogen a las playas o porque en las playas más expuestas coinciden las acumulaciones de cantos y bloques al pie de los acantilados. Esa estabilidad no implica que no se de cierta variabilidad en la posición de la línea de costa, pues son abundantes los casos en los que se aprecia la rotación-basculamiento de la playa dado el carácter encajado de éstas.

Agradecimientos

El presente trabajo es una contribución a los proyectos de investigación MINECO CGL2013-48441-P; CGL2016-79246-P y CTM2015-66225-C2-2 (AEI/FEDER, UE). Los autores agradecen a Josefina Salord y Joan F. López Casasnovas sus comentarios y ayuda en relación a los aspectos terminológicos de las playas de cantos.

Bibliografía

Balaguer, P., Vallespir, J., Vizoso, M., Ruiz, M., Cañellas, B., Fornós, 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.

- Baulies, J. (1967): *L'illa de Menorca*. Barcelona, Ed. Barcions. 3 vols.
- Boak, E.H. y Turner, I.L. (2005): Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 1: 688-703.
- Bourrouilh, R. (1983): *Stratigraphie, sédimentologie et tectonique de l'île de Minorque et du Nord-Est de Majorque (Baléares)*. La terminaison Nord-orientale des Cordillères Bétiques en Méditerranée occidentale. Madrid, Instituto Geológico y Minero de España.
- Cañellas, B. (2010): *Long-term extreme wave height events in the Balearic Sea: Characterization, variability and prediction*. Tesi Doctoral. Institut Mediterrani d'Estudis Avançats, Universitat de les Illes Balears. Palma. 84 pp.
- Fornós, J.J. (2004): Morfologia costanera i processos litorals. El paper de la fracturació i del karst. 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: 235-244. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Fornós, J.J. y Forteza, V. (1993): *Estudi de la dinàmica i dels sediments a la zona del Grau (Menorca)*. Document inèdit. Palma, Societat d'Història Natural de Balers. 54 pp.
- Fornós, J.J. y Obrador, A. (2003): Geologia 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: 31-38. Palma, AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Fornós, J.J., Obrador, A. y Rosselló, V.M. (eds). *Història Natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Institut Menorquí d'Estudis. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11. Palma Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Fornós, J.J., Segura, F. (2004); El rebliment holocènic dels barrancs del Migjorn. 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: 235-244. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Furlani, S., Pappalardo, M., Gómez-Pujol, L. y Debrat, M. (2014): The Rock Coast of the Mediterranean and Black seas. En: Kenedy, D., Stephenson, W.J. y Naylor, L. (eds). *Rocky Coast Geomorphology: A Global Synthesis: 77-87*. London. Geological Society of London.
- Gelabert, B., Fornós, J.J., Pardo, J.E., Rosselló, V.M. y Segura, F. (2005): Structurally controlled drainage basin development in the south of Menorca (Western Mediterranean, Spain). *Geomorphology*, 65: 139-155.
- Gómez-Pujol, L., Balaguer, P., Mateu, J. y Roig, F.X. (2004): Composició i textura del sediment de les platges del Migjorn. 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: 235-244. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Gómez-Pujol, L., Gelabert, B., Fornós, J.J., Rosselló, V.M., Pardo, J.E. y Segura, F. (2013): Structural control on the presence and character of Calas: examples from Balearic Islands limestone rock macroforms. *Geomorphology*, 194: 1-15.
- Gómez-Pujol, L., Orfila, A., Álvarez-Ellacuría, A., Terrados, J. y Tintoré, J. (2013a.): *Posidonia oceanica* beach-cast litter in Mediterranean beaches: a coastal videomonitoring study. *Journal of Coastal Research*. Spec. Issue., 65: 1768-1773.
- Gómez-Pujol, L., Roig, 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*, 33:195-208.
- Obrador, A. y Mercadal, B. (1979): Geomorfologia de Menorca. En: Vidal, J.M. (ed.). *Enciclopèdia de Menorca*. Volum 1: 267-230. Ciutadella, Obra Cultural Balear.
- Obrador, A. y Pomar, L. (2004): El Miocè de Migiorn. 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: 235-244. Palma, Societat d'Història Natural de les Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Ojeda, J. (2000): Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 30: 103-118.

- Ponce de León, S. y Orfila, A. (2016): Wave energy in the Balearic sea. Evolution from a 29 year spectral wave hindcast. *Renewal Energy*, 85: 1192-1200.
- Pons, G.X. y Gómez-Pujol, L. (2003): Introducción al Medio Físico de Menorca (Illes Balears). In Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gómez-Pujol, L. (eds). *Introducción a la Geografía Física de Menorca*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 10: 1-30. Palma, AGE, Universitat de València, Universitat de les Illes Balears, Societat d'Història Natural de les Balears.
- Roig-Munar, F.X. (2010): *Aplicació de criteris geomorfològics en la gestió dels sistemes litorals arenosos de les Illes Balears*. Tesis de Doctorat. Departament de Ciències de la Terra Palma, Universitat de les Illes Balears. 366 pp.
- Rossell, J. y Llompart, C. (2002). *El naixement d'una illa, Menorca. Guia de geologia pràctica*. Maó, Institut Menorquí d'Estudis. 279 pp.
- Rosselló, V.M. (1977): *Les Illes Balears. Resum geogràfic*. Barcelona, Barcino, 198 pp.
- Rosselló, V.M. (2005): Cala, una mesoforma litoral: concepte, models i aproximació morfomètrica. *Cuadernos de Geografía*, 77: 1-18.
- Rosselló, V.M., (2004): El litoral i les cales. En: Fornós, J.J., Obrador, A. y Rosselló, V.M. (Eds). *Història Natral del Migjorn de Menorca. El medi físic i l'influx humà*. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 11: 177-200. Palma, Societat d'Història Natural de Balears, Institut Menorquí d'Estudis.
- Sánchez-Arcilla, A., González-Marco, D. y Bolaños, R. (2008): A review of wave climate prediction along the Spanish Mediterranean coast. *Natural Hazards and Earth System Science*, 8: 1217-1228.
- Segura, F., Pardo, J.E. y Servera, J. (1999): Tectònica i carst al migjorn de Menorca: El Prat de Son Boy. En: Rosselló, V.M. (ed.). *Geoarqueologia i Quaternari Litoral. Memorial Maria Pilar Fumanal*: 435-446. València, Publicacions de la Universitat de València.
- Segura, F., Pardo-Pascual, J.E., Rosselló, V.M., Fornós, J.J. y Gelabert, B. (2007): Morphometric indices of tectonic fluvial and karst processes in calcareous drainage basins, South Menorca Island, Spain. *Earth Surface Processes and Landforms*, 32:1928-1946
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L. y Ergui, A. (2009): *Digital shoreline analysis sytem (DSAS) versió 4*. US Geological Survey Open-file Report, 2008-1278.
- Tintoré J.; Vizoso, G., Casa, B., Heslop, E., Pacual, A., Orfila, A., Ruiz, S., Martínez-Ledesma, M., Torner, M., Cusí, S., Balaguer, P., Gómez-Pujol, L., Álvarez-Ellacuría, A., Sebastian, K., Lora, S., Beltrán, P., Renault, L., Juzà, M., Álvarez, D., March, D., Garau, B., Castilla, C., Cañellas, T., Roque, D., Lizarán, I., Pitarch, S., Carrasco, M., Lana, A., Mason, E., Escudier, R., Conti, D., Sayol, J.M., Barceló, B., Alemany, F., Reglero, P., Massuti, E., Vélez-Belchi, P., Ruiz, J., Oguz, T., Góme, M., Álvarez, E., Ansorema, K. y Manríquez, M. (2013): SOCIB: The Balearic Islands Coastal Ocean Observing and Forecasting System Responding to Sciene, Technology and Society Needs. *Marine Technology Society Journal*, 47: 1-17.