

Anàlisi de la variació espacio-temporal de la *foredune* i la línia de costa del sistema dunar de Cala Torta (1956-2012)

Marina GARAU

SHNB



SOCIETAT D'HISTÒRIA
NATURAL DE LES BALEARS

Garau, M. 2015. Anàlisi de la variació espacio-temporal de la *foredune* i la línia de costa del sistema dunar de Cala Torta. *Boll. Soc. Hist. Nat. Balears*, 58: 179-192. ISSN 0212-260X. Palma de Mallorca.

Els sistemes platja-duna són ecosistemes únics i singulars de transició entre ambients continentals i marins amb una elevada fragilitat, principalment per l'acció humana. A les Illes Balears s'hi localitzen una seixantena de sistemes dunars, un dels quals és el de Cala Torta (Artà). Ocupa una superfície d'uns 19.500 m² i adquireix un desenvolupament longitudinal. L'objectiu del treball és realitzar una aproximació general del sistema dunar de Cala Torta a partir de l'explicació dels canvis soferts de la línia de costa i l'anàlisi de l'evolució espacio-temporal de la cobertura vegetal al *foredune* per any i període des del 1956 fins al 2012. Així, s'ha observat una tendència de disminució de la cobertura vegetal i un retrocés generalitzat al llarg de tota la línia de costa durant els anys analitzats.

Paraules clau: sistema platja-duna, Cala Torta, línia de costa, vegetació herbàcia, *foredune*

ANALYSIS OF THE SPACE-TIME VARIATION OF THE FOREDUNE AND COASTLINE OF CALA TORTA DUNE SYSTEM (1956-2012). Beach-dune systems are unique and singular transition ecosystems between continental and marine environments with a high fragility, mainly because of the human action. Around sixty dune systems are located in the Balearic Islands, one of which is Cala Torta (Artà). It occupies a surface of about 19.500 m² and it develops a longitudinal development. The purpose of this study is making an overall approximation of the dune system in Cala Torta drawn from the explanation of the changes that the coast has suffered and the analysis of the space-time evolution of the vegetation coverage to *foredune* a year and period from 1956 to 2012. It has been observed a decreasing trend of the vegetation coverage and a general recession along the entire coast line during the years analysed.

Key words: beach-dune system, Cala Torta, coastline, herbaceous vegetation, *foredune*.

Marina GARAU, 07500 (Manacor). garaufebre@gmail.com

Recepció del manuscrit: 21-nov-15; revisió acceptada: 30-des-15

Introducció

Els sistemes platja-duna són ecosistemes terrestres únics derivats de la transició entre ambients continentals i marins. Com la resta d'hàbitats costaners són extremadament fràgils ajustats en la seva formació, desenvolupament i evolució

a processos naturals, el que els fa fàcilment vulnerables front a l'acció humana.

Actualment, l'elevada pressió i freqüentació humana condicionen la seva exposició a un seguit d'agressions i perturbacions que nombroses vegades han suposat una degradació o destrucció d'aquests ecosistemes. Dintre de totes

aquestes, l'aprofitament urbanístic, el recreatiu i l'ús massiu de les platges com a recurs d'oci són unes de les principals causes d'alteració per part de l'home (Mas et al., 2004).

A les Illes Balears s'hi localitzen una seixantena de sistemes dunars, ocupant unes 3500 ha (Servera *et al.*, 2011), trobant-s'hi el de Cala Torta. Aquest és un sistema dunar de petites dimensions que a dia d'avui és una zona on no s'hi ha realitzat cap investigació científica de gran rellevància. Així, i dintre d'aquest context, es pretén realitzar una aproximació general del sistema dunar, explicant els canvis de la línia de costa des del 1956 fins al 2012 i analitzant l'evolució espacio-temporal de la cobertura vegetal al *foredune* per any i període des del 1956 fins al 2012.

Àmbit d'estudi

El sistema platja-duna de Cala Torta es situa al quadrant nord-est de l'illa de Mallorca (Fig. 2), dintre la Península de Llevant i del Terme Municipal d'Artà, entre les platges de Cala Mesquida (a l'est) i Cala

Mitjana (a l'oest). Està format per tot un seguit de dunes que ocupen una superfície d'uns 19.500 m², estenent-se cap a l'interior fins a una distància de 340 metres des de la línia de costa. El sistema adquireix un desenvolupament longitudinal, influenciat per les condicions geològiques de la zona. La platja actual que alimenta aquest sistema té una llargària d'uns 150 metres i una amplada de 100 m.

Els registres del punt WANA2126117 (Fig. 1) pel període 1996-2013 mostren que els vents predominants al sistema platja-duna de Cala Torta són els de component N, seguits pels de component NE (Ministeri de Foment, 2013). Les estimacions d'onatge a aquest punt indiquen que en un 70% dels dies les ones registraven potències inferiors a 1m. Només en un 3% dels dies es dona onatge de gran magnitud, amb ones superiors als 3m d'altura (Mir-Gual, 2014). No obstant, molt puntualment es donen grans temporals de mar amb onades de més de sis metres.

Tot el sistema dunar es troba protegit sota la figura ANEI per la Llei 1/1991 de

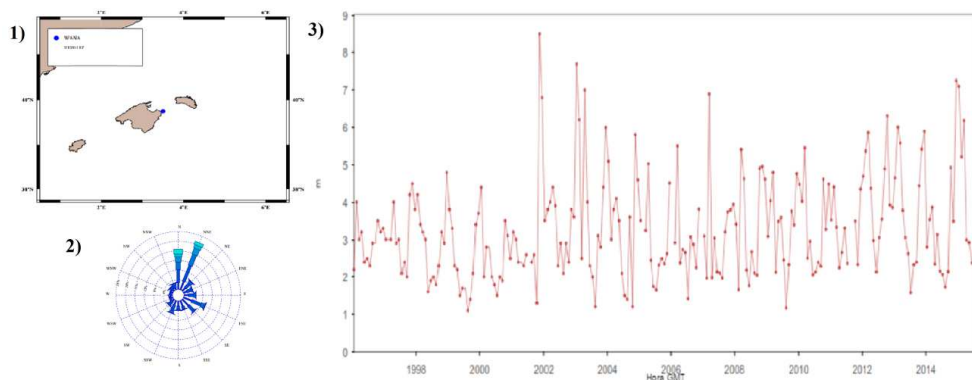


Fig. 1. (1) Localització del punt WANA21617, (2) rosa de de la direcció de l'onatge (1996 – 2013) i (3) màxim mensual de l'altura de l'ona (1996-2013). Font: www.puertos.es (1)

Fig. 1. Location on the WANA21617 point, (2) rose of the significant wave height (1993 – 2013) and (3) a of the wave height mounthly maximum (1996 – 2013).

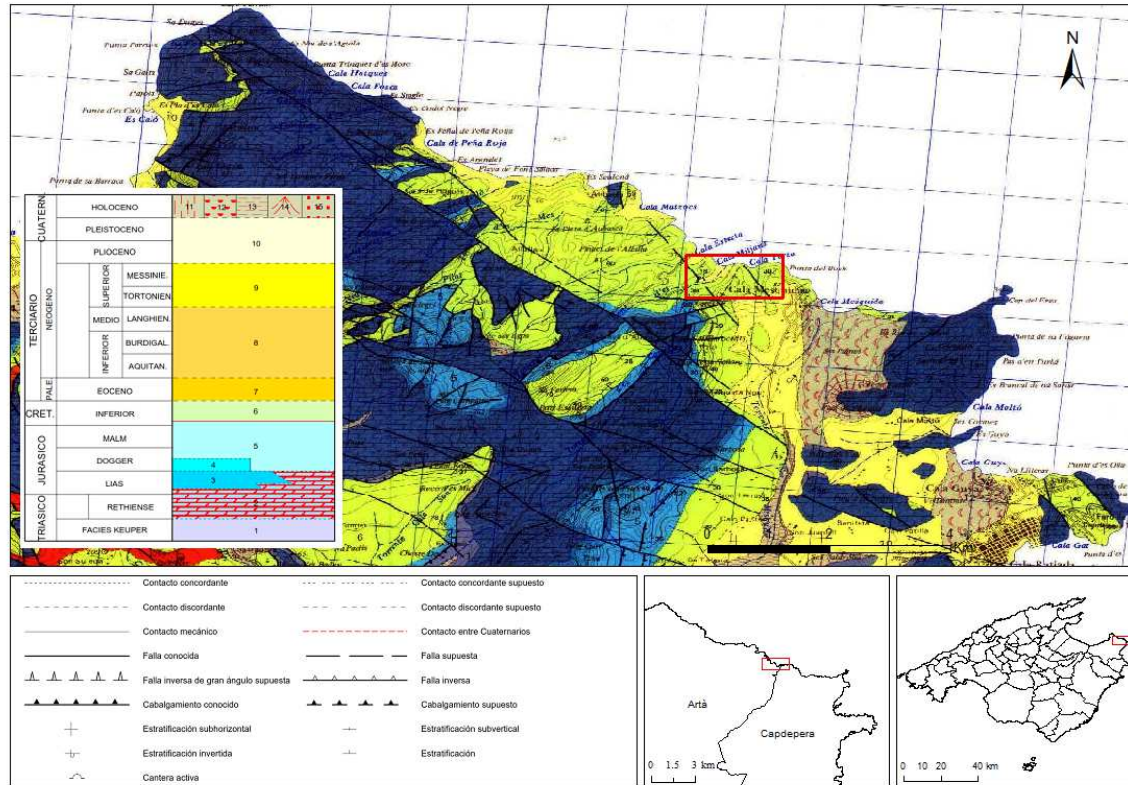


Fig. 2. Localització geogràfica i caracterització geològica en el sistema dunar de Cala Torta. Font: IGME.

Fig. 2. Geographic location and geologic characterisation in Cala Torta's beach dune System.

30 de gener, d'Espais Naturals i de règim urbanístic de les àrees d'especial protecció de les Illes Balears i les figures LIC i ZEPA, dins la Xarxa Natura 2000. Cal tenir present que havia estat inclosa dins el Parc Natural de la península de Llevant fins al 2003 quan la Llei 10/2013, de 22 de desembre de mesures tributàries i administratives limita l'extensió del parc a les finques públiques d'Aubarca, es Verger i s'Alqueria Vella.

Estructuralment es troba dins el sistema de falles i plegaments que donen lloc a les serres de Llevant i pel que fa a la seva naturalesa litològica es desenvolupa sobre margocalcàries del Cretaci inferior-mitjà (Fig. 2). Segons Balaguer (2007) la costa de Cala Torta presenta unes altures compreses entre els 0 i 15 metres i té amb una morfologia còncava.

Si es tenen en compte les característiques intrínseques al sistema dunar (Fig. 3) s'observa la divisió d'aquest en dos sectors (occidental i oriental). La desembocadura del torrent de Cala Torta suposa un augment de l'erosió quan es produeixen grans avingudes, provocant una limitació en la consolidació d'una primera línia de dunes ferma. A més, s'hi troba la formació d'una bassa temporal en èpoques de precipitacions intenses, que és ocupada pels automòbils en l'època estival, quan hi és present una major aflluència de turistes.

Objectius, materials i mètodes

L'àmbit d'estudi del present treball és un sistema platja-duna de petites dimensions que a dia d'avui, a pesar d'haver-se degradat, encara manté unes

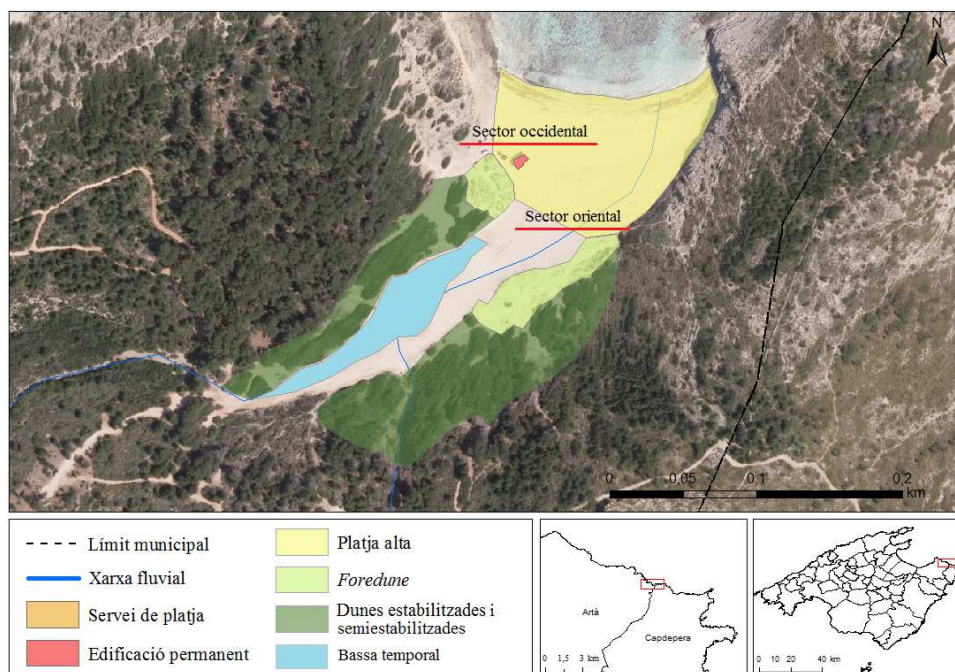


Fig. 3. Caracterització del sistema platja-duna de Cala Torta.

Fig. 3. Cala Torta's beach-dune system characterisation.

característiques que el fan únic i singular.

Per poder dur a terme l'anàlisi de l'evolució del *foredune* de Cala Torta s'ha aplicat una metodologia desenvolupada a partir de la utilització de cartografia a escala 1:6.000 amb ortofotos disponibles a l'IDEIB corresponents als anys 1956, 1989, 2002, 2008 i 2012 i fotografia aèria vertical dels anys 1973, 1979, 1983 i 1997 disponibles a la cartoteca de la Universitat de les Illes Balears. Tots els vols en suport paper s'han hagut d'escanejar i georreferenciar abans de realitzar-ne una delimitació individualitzada per cadascun dels anys.

Les dades resultants amb l'ajuda d'un Sistema d'Informació Geogràfica foren tractades amb la correcció geomètrica de les imatges, cartografiant la superfície vegetada per cada un dels anys analitzats. El resultat és l'anàlisi de l'evolució temporal de la cobertura vegetal per períodes.

L'anàlisi de la variació de la línia de costa s'ha dut a terme a partir de les ortofotos disponibles a l'IDEIB pels anys 1956, 1989 i 2012. Només s'han utilitzat aquestes tres ortofotos al pretendre comparar dos períodes temporals similars en quant a duració. S'han exclòs de l'anàlisi les fotografies aèries per qüestions de distorsió en el moment de la georeferenciació.

Per identificar i digitalitzar la costa, s'ha agafat el punt de màxima arribada de l'ona a la platja seca (línia humida-seca), visible en la majoria de les fotografies aèries pel contrast entre les arenes seques i humides i per les acumulacions de *Posidonia oceanica* depositades a la platja (Martin-Prieto *et al.*, 2013).

Un cop identificada i digitalitzada la línia de costa a les distintes dates, la mesura dels canvis requereix l'establiment d'una metodologia que permeti la mesura

geomètrica i la comparació. L'estudi comparatiu dels canvis soferts a la línia de costa de Cala Torta s'ha dut a terme a partir d'un SIG, el DSAS (Thieler *et al.*, 2005), la qual realitza automàticament el càlcul dels metres acumulats i erosionats de cada línia de costa respecte a una línia de base establerta anteriorment.

Des d'aquesta línia de base s'estableixen transsectes perpendiculars separats entre si per una distància de 10m. Així, s'ha fet necessària l'establiment de punts de referència al llarg de tota l'amplada de la línia de costa, creant setze seccions de 10m cadascun per obtenir de forma més detallada les variacions de la línia de costa per seccions (Fig. 10).

A partir de dos paràmetres, End Point Rate i el Net Shoreline Movement, s'ha pogut calcular els resultats obtinguts i interpretar l'evolució de la línia de costa, obtenint-se a partir de les següents fórmules:

EPR = distància del desplaçament de la línia de costa / temps entre la línia de costa més antiga i la més recent.

NSM = distància entre la línia de costa més antiga i la més recent

Resultats

Variació de la cobertura vegetal a la foredune (1956-2012)

La variació temporal de la cobertura vegetal del *foredune* no ha estat homogènia al llarg del temps, tot hi haver-hi una tendència de disminució (Fig. 4). Si s'analitza any per any, la màxima cobertura vegetal es situa al 1956 amb un total de 9170,98 m². A partir d'aquest instant hi ha una progressiva disminució, a excepció de l'any 2002 on la cobertura és de 5021,31 m², presentant una recuperació considerable ja que s'arriba a valors pròxims als del



Fig. 4. (1) Variació espacio-temporal que ha experimentat la cobertura vegetal herbàcia del *foredune* de Cala Torta per cada un dels anys analitzats, d'entre el 1956 i el 2012, i per cada un dels períodes considerats (2).

Fig. 4. Space-time variation that the vegetal herbaceous coverage of the *foredune* from Cala Torta suffers for each of the analysed years, between 1956 and 2012, and for each one of the considered periods.

1973. Així mateix, la menor cobertura vegetal coincideix amb la situació del 2012 havent una superfície de 3371,54 m². Per tant, en termes absoluts la superfície vegetada s'ha reduït en 5799,44 m², el que suposa una disminució de més del 50%, trobant-se una superfície vegetada equivalent al 36,77% respecte a la situació inicial del 1956.

Per períodes destaquen tres distintes intensitats; la primera d'elles és la dràstica i màxima disminució de la cobertura vegetal herbàcia (-3862,08 m²) durant el període

comprés entre el 1956 i el 1973. En segon lloc es remarca el període d'estabilització d'entre el 1979 i el 1983 on la cobertura vegetal només es redueix en -40,07 m². Finalment es destaca la considerable recuperació de la cobertura vegetal en el període d'entre el 1997 i el 2002 (1366,85 m²). No obstat, aquesta recuperació és efímera ja que als següents períodes aquesta segueix disminuint, superant els valors mínims dels períodes anteriors i arribant al mínim de vegetació herbàcia al 2012 (Fig. 9).



Fig. 5. Marques de distints vehicles amb motor al pas pel foredune del sector oriental.

Fig. 5. Marks of different motor vehicles passing through foredune of the Sector East.

La part davantera d'ambdós sectors és la més degradada (Fig. 9). Per una banda, el sector oriental és el que ha presentat una major disminució de la cobertura vegetal i per tant, una major degradació. A aquest sector no s'hi ha realitzat cap mesura de gestió. Això ha condicionat un augment de la pressió humana derivada del trànsit d'usuaris que intenten accedir a la platja

(Fig. 5). Hi destaca principalment la formació en dies puntuals d'una primera línia de cotxes durant l'època estival que contribueix encara més a la degradació d'aquest sector del sistema dunar.

La situació del sector oriental contrasta amb la presència de mesures de gestió en el sector occidental del sistema platja-duna. A aquest la demarcació de costes hi realitzà



Fig. 6. Localització dels (1) cordons dissuasoris i (2) trampes d'interferència eòlica al sistema dunar de Cala Torta.

Fig. 6. Location of the dissuasive cords and the wind interference sections to the dune system.

diverses actuacions l'any 2014. Es basaren fonamentalment amb la utilització de cordons dissuasoris i de trampes èdiques per a la seva protecció i preservació (Fig. 7). No obstant, tot i realitzar-s'hi un acordonament dunar, a les proximitats del sector occidental s'hi localitzen a l'època estival un conjunt de vehicles privats (pertanyents al personal que treballa al bar) que han suposat la desaparició de gran part de la vegetació present al 1956 (Fig. 8).

Cal tenir present que els processos de degradació que s'inicien l'any 1973 amb la dràstica disminució i desaparició de la vegetació a primera línia, especialment en el sector occidental, es mantenen fins a l'actualitat. Aquest fet suposa la conseqüent degradació de la cobertura vegetada a la resta del sistema i duu amb sí a una reactivació dinàmica i sedimentària del sistema que afectarà també al seu estat ecològic (Mir-Gual, 2014).

Actualment, la majoria dels vehicles aparcats s'ubiquen dintre del sistema platja-duna, principalment a l'àmbit on a l'hivern es localitza una bassa temporal. Es realitzà un recompte del número de cotxes que hi havia estacionats dintre del sistema dunar i a les seves immediacions. Així, el dia 8 d'agost de 2015 a les 14:00h es comptabilitzaren un total de 202 cotxes.

Aquesta zona d'aparcament es concentra sobretot sobre el primer tram arenós, arribant en el moment de màxima afluència a formar-se una línia de cotxes a banda i banda del camí que en el punt més pròxim a la platja, alguns cotxes estaven a sobre de la vegetació herbàcia que cobreix el substrat arenós del sector oriental (Fig 7). En conjunt suposa un augment de la degradació general del sistema dunar, a més d'una compactació del sòl i la incorporació de contaminants com olis i benzines.

Amplada de la platja (m)	EPR - Moviment de la línia de costa (m/any)		
	1956 - 2012	1956 - 1989	1989 - 2012
0	-0.16	-0.11	-0.28
10	-0.16	-0.07	-0.32
20	-0.14	-0.04	-0.33
30	-0.12	-0.01	-0.28
40	-0.12	-0.01	-0.21
50	-0.1	-0.06	-0.12
60	-0.11	-0.09	-0.08
70	-0.11	-0.13	-0.02
80	-0.09	-0.17	0.06
90	-0.11	-0.2	0.14
100	-0.12	-0.28	0.15
110	-0.14	-0.31	0.12
120	-0.13	-0.33	0.1
130	-0.15	-0.29	0.01
140	-0.16	-0.26	-0.06
150	-0.13	-0.23	-0.02

Taula 1. Valors de l'EPR, expressat en m/any.

Table 1. EPR values, expressed in metres/years.

Amplada de la platja (m)	NMS - Moviment de la línia de costa (m)		
	1956 - 2012	1956 - 1989	1989 - 2012
0	-7.04	-3.48	-6.5
10	-8.85	-2.34	-7.44
20	-2.28	-1.28	-7.61
30	-7.13	-0.23	-6.39
40	-8	-0.22	-7.84
50	-6.81	-5.04	-2.68
60	-5.98	-4.28	-1.95
70	-5.24	-5.52	-0.51
80	-6.03	-6.67	1.43
90	-6.23	-9.32	3.34
100	-5.62	-10.18	3.37
110	-6.97	-10.79	2.79
120	-6.61	-9.41	2.28
130	-7.84	-8.47	0.19
140	-8.72	-7.55	-1.3
150	-8.84	-6.58	-0.46

Taula 2. Valors del NMS, expressat m.

Table 2. NMS values, expressed in metres.

Variació de la línia de costa (1956-2012)

A partir de l'anàlisi de les línies de costa s'observen unes diferències substancials entre els distints períodes analitzats: 1956-1989, 1989-2012 i 1956-2012 (Fig. 3). Aquestes diferències no són homogènies al llarg de tota la superfície de la platja.

Pel que fa al primer període analitzat (1956-1989) (Fig. 11 i Taula 1 i 2) la línia de costa ha retrocedit en totes les seccions, especialment a la zona més oriental. El paràmetre NSM indica una variació màxima de quasi 11 m, el que significa



Fig. 7. Localització de l'actual pàrquing dintre del sistema platja-duna de Cala Torta.
Fig. 7. Location of the actual parking inside the beach-dune system of Cala Torta.



Fig. 8. Localització de cotxes situats a on al 1956 hi era present una part del foredune.
Fig. 8. Location of cars located where in 1956 there was a part of the foredune

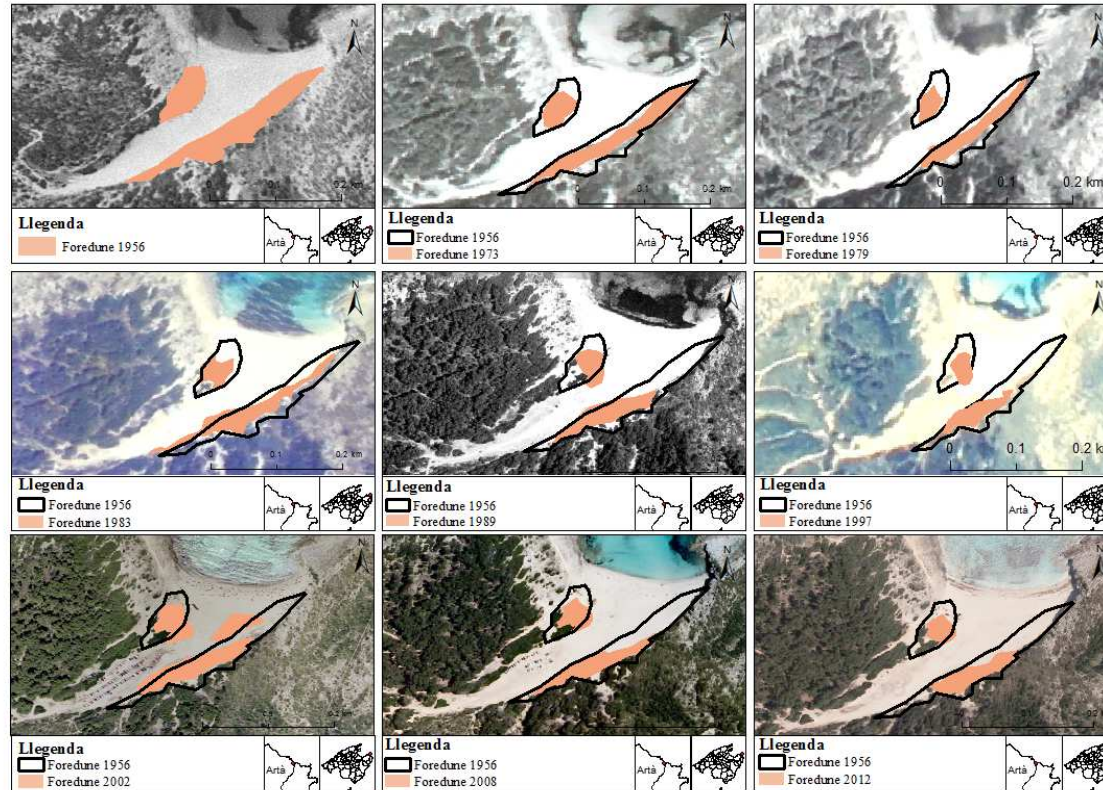


Fig. 9. Cartografia de l'evolució de la superfície vegetada al foredune de Cala Torta des del 1956 al 2012.

Fig. 9. Cartography of the evolution of the vegetal surface to foredune from Cala Torta, from 1956 to 2012

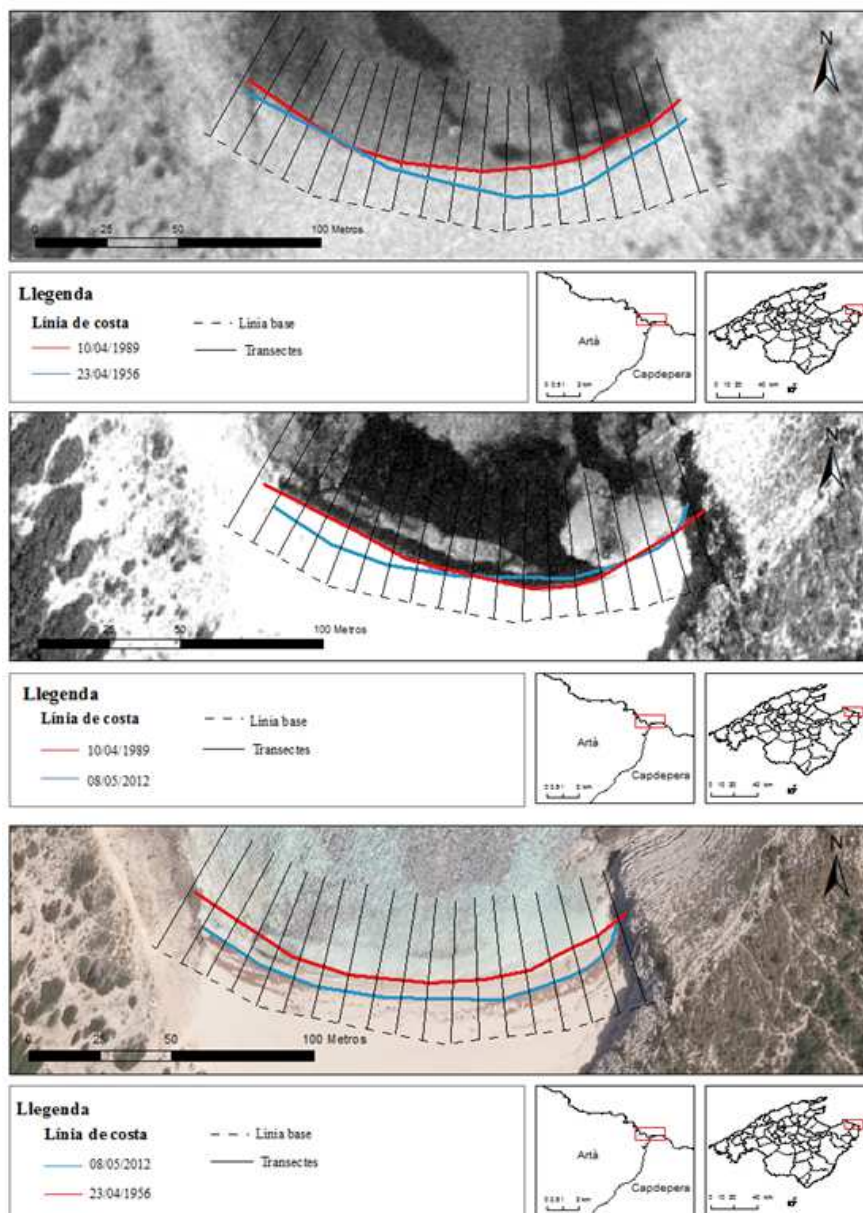


Fig. 10. Representació de la línia de costa pels anys 1956, 1989 i 2012 amb els respectius transsectes.

Fig. 10. Representation of the coastline of 1956, 1989 and 2012 with their respective transect.

segons l'EPR, una disminució anual entorn dels 0.30m/any.

La línia de costa al segon període (1989-2012) ha experimentat una variació a la inversa si es compara amb el primer període (Fig. 11 i Taula 1 i 2), de manera que la zona on abans hi havia un major retrocés ara ha avançat de l'ordre de 3m. Això ha estat en detriment de la zona occidental amb unes disminucions d'uns 7m en els sectors més afectats. En conseqüència, l'EPR a aquests últims sectors presenta també un retrocés anual d'uns 30cm. En el cas dels sectors on s'hi

ha depositat sediment el creixement anual és troba entre els 10 i 15cm.

El període global (1956-2012) presenta un retrocés general i homogeni de l'ordre de 6m de mitjana, sense haver-hi grans diferències entre els distints sectors, sense superar els 3m (Fig. 11 i Taula 1 i 2). Així mateix, l'EPR presenta uns valors negatius, entre els 11 i 16 cm a l'any. Es constata per tant, la predominança d'una dinàmica erosiva i gairebé uniforme al llarg de tots els sectors de la platja.

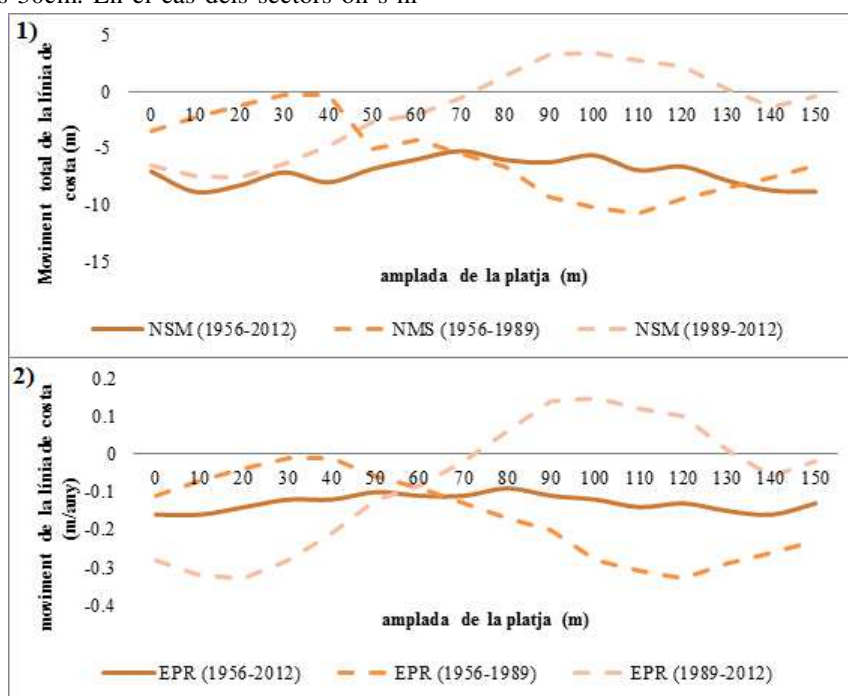


Fig. 11. (1) NSM per períodes: 1956-2012, 1956-1989 i 1989-2012, expressat en metres i (2) EPR pels mateixos períodes expressat per m/any.

Fig. 11. (1) NMS for periods: 1956-2012, 1956-1989 and 1989-2012, expressed in meters and (2) EPR for the same period expressed in m/year.

Conclusions

El present estudi ha permès conèixer l'estat del *foredune* i dels canvis en la línia de costa a partir d'ortofotos entre 1956 i 2012.

Els resultats obtinguts sobre el *foredune* evidencien una dràstica reducció de la cobertura vegetal des del 1956 fins al 2012, passant de 9170,98 m² a 3371,54 m². Aquesta tendència de disminució és interrompuda efímerament entre 1997 i 2002, l'únic període de recuperació de la vegetació al *foredune*. Espacialment, la part davantera d'ambdós sectors és la més degradada i la que ha sofert una major reducció, principalment a la seva part oriental.

Les anàlisis de les variacions en la línia de costa demostren un clar retrocés, sent uniforme i homogeni en totes les seccions. La línia de costa ha experimentat una variació a la inversa si es compara per períodes ja que entre el 1956 i el 1989 el sector oriental va retrocedir de l'ordre d'11 metres. Per contra, durant el 1989 i el 2012 aquest mateix sector va avançar uns 3 m.

Finalment, es pretén que el present estudi serveixi com a preàmbul per a la futura realització d'investigacions en més profunditat, més enllà dels aspectes genèrics tractats a aquest article. N'és només una primera passa però permet corroborar la degradació del *foredune* i el retrocés de la línia de costa.

A partir d'aquest estudi sorgeixen noves temàtiques d'investigació com la incidència de la dinàmica de temporals en la variació de la línia de costa o la concreció dels patrons de comportament dels usuaris per comprovar en quina mesura contribueixen en la degradació de tot el sistema dunar. Així mateix, caldrà avaluar l'efectivitat de les mesures de gestió dutes a terme. Tot plegat és bàsic per a determinar noves

actuacions concretes que millorin i garanteixin la conservació d'un dels sistemes dunars més emblemàtics del nord-est de Mallorca.

Agraïments

Vull donar les gràcies a tots els que m'han donat un cop de mà per transformar la simple il·lusió de saber més de Cala Torta amb un projecte d'investigació que m'ha enriquit molt com a persona. Gràcies a n'en Guillem X. Pons per la tutorització constant, a José Ángel Martín Prieto per l'assessorament en els procediments amb SIG, i a la meua família i amics per involucrar-se en el projecte i animar-me sempre a seguir endavant.

Bibliografia

- Balaguer, P. 2007. Inventari quantitatiu de les coses rocoses de Mallorca. In: Pons, G. X. i Vicens, D. (eds.). *Geomorfologia Litoral i Quaternari*. Homenatge a Joan Cuerda Barceló. Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 14:201-230. Palma de Mallorca.
- Instituto Geológico y Minero de España (IGME). 2015. <http://www.igme.es/>.
- Infraestructures de Dades Especials de les Illes Balears (IDEIB). 2015. <http://ideib.caib.es>.
- Llei 1/1991, de 30 de gener, d'Espais Naturals i de règim urbanístic de les àrees d'especial protecció de les Illes Balears.
- Llei 10/2003, de 22 de desembre de mesures tributàries i administratives.
- Martín-Prieto J.A., Roig-Munar, F.X., Pons G.X., Rodríguez-Perea A., Alvarado, M., i Mir-Gual, M. 2013. Description of erosion processes in Spratt Bight (San Andrés Island, Colombia) using Sequential End Point Rates (EPR). *Journal of Coastal Research*, SI 65: 997-1002.
- Mas, Ll. i Blàzquez, M. 2004. Anàlisi de la freqüentació d'ús a pes platges i estudi de

- paràmetres de sostenibilitat associats. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 45: 15-40.
- Ministeri de Foment. Puertos del Estado: clima medio del viento. 2013. http://calipso.puertos.es/BD/informes/medios/MED_3_8_2126117.pdf.
- Mir-Gual, M. 2014. Anàlisi, caracterització i dinàmica de les formes erosives *blowout* en sistemes dunars de Mallorca i Menorca (Illes Balears). Tesis doctoral. *Universitat de les Illes Balears*.
- Servera, J.; Rodríguez-Perea, A. i Martín-Prieto, J.A. 2011. Las dunas costeras de las Islas Balears. In: Sanjaume, E. i Gracia-Prieto, F.J. (eds.). *las dunes en España*: Sociedad Española de Geomorfología, 285-304.
- Thieler, E.R.; Himmelstoss, E.A.; Zichichi, J.L. i Ergul, Ayhan 2009. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. geological Survey Open-File Report 2008-1278.