

Evolució temporal dels sistemes dunars de la platja de Castell (Costa Brava, Palamós)

Paula Meseguer Prat

Terrasa, Barcelona, Espanya.

La correspondència referent a aquest article s'ha d'adreçar a Paula Meseguer Prat, c/ Egara, 46, Terrasa (Barcelona) 08225.
Correu electrònic: paula.meseguer.prat@gmail.com

Les dunes són un ecosistema singular propi de les zones sorrenques, ja siguin platges o deserts. Es formen per acumulació de sediment sobre petits obstacles, gràcies a l'acció del vent que transporta el sediment que arriba amb les onades i la captació de sorra per part de la vegetació dunar. Aquest tipus d'hàbitat és cada vegada més escàs al litoral català, i degut a les espècies exclusives de flora i fauna que s'hi associen la seva conservació és rellevant. Per aquest motiu, s'estudia el cas de la platja de Castell, una renaturalització encara en curs que pot aportar nou coneixement en aquest àmbit.

La platja de Castell presenta dos sectors amb dunes, un a la banda est i l'altre a la banda oest, que són diferents entre ells. L'objectiu d'aquest treball és analitzar alguns factors que podrien estar influïnt en el desenvolupament dunar per saber si poden explicar les diferències observades.

El sistema dunar oest és el més antic, ja estava present l'any 1945, i és el que té major superfície, alçada de duna, recobriment vegetal i nombre d'espècies. En canvi, el sistema dunar est és més jove i encara no presenta morfologia dunar marcada. Tant la seva superfície com recobriment vegetal i nombre d'espècies tenen valors menors que el sector oest. De la mateixa manera, el tamany de gra de la sorra és un tret diferencial entre sistemes, que tenen un patró de distribució en profunditat invers. Aquestes desigualtats es deuen a una pressió antròpica diferent en els sectors, molt més accentuada a la part est, que alhora també presenta menor dinàmica de sediment.

Les conclusions d'aquest treball serviran per ajudar a la presa de decisions dels gestors de l'espai.

Mots clau: dunes, evolució, vegetació dunar, granulometria.

Temporal Evolution Of Castell's Beach Dune System (Costa Brava, Palamós)

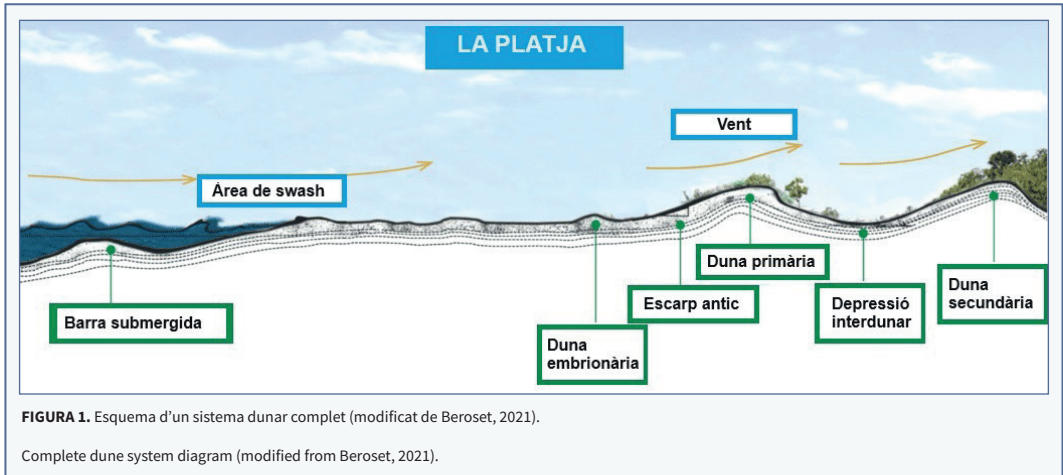
Dunes are unique ecosystems of sandy areas, whether beaches or deserts. They are formed by the accumulation of sediment on small obstacles, through wind action transporting wave-carried sediment that is subsequently trapped by dune vegetation. This type of habitat is increasingly rare on the Catalan coast, and since there are exclusive species of flora and fauna associated with it, its conservation is important. For this reason, the case of Castell beach, an ongoing renaturation process that can provide new knowledge in this area, is studied.

Castell beach has two sectors with dunes, one on the east side and the other on the west side, which are different from each other. This study aims to analyse some of the factors that may be affecting the dune development to find out if they provide an explanation for the differences observed.

The western dune system is the oldest of the two, already present in 1945, and has the largest area, dune height, plant cover and number of plant species. The eastern dune system started to form in 2001 and has no marked dune morphology yet. Its area, plant cover and number of plant species values are lower than those on the west side. Another differential trait between both dune systems is the sand grain size, which is distributed oppositely in depth. These divergences are due to differential anthropic pressure on each dune system, being more intense in the eastern side, as well as a lower sediment dynamic in that section.

The conclusions of this study will aid the decision-making process of the people responsible for taking care of the space.

Keywords: dunes, evolution, dune vegetation, granulometry.



Les dunes són ecosistemes que es formen per l'acció del vent i les ones, que acumula sediment sobre petits obstacles (petxines, vegetació, ...) que hi hagi a la platja. En aquests llocs s'estableix la vegetació pròpia de l'hàbitat dunar, que es distribueix per zones segons la salinitat, el vent o l'estrès hídric (Deplan, 2008; Garcia-Lozano, 2019).

Un sistema dunar se sol distribuir en cordons paral·lels entre ells (Fig. 1). El primer és el més jove, es denomina *duna embrionària*, i se situa a la part alta de la platja seca. Acostuma a tenir poca cobertura vegetal. Darrere hi ha la duna primària, més antiga i alta, que presenta major recobriment de vegetació. A continuació apareix la depressió interdunar o rereduna, que està protegida del vent i té major disponibilitat d'humitat, per la qual cosa sol estar molt vegetada. Al final de la depressió hi ha la duna secundària, que acostuma a presentar més espècies que la duna primària. Per últim, hi ha la duna terciària, colonitzada per arbres i arbustos (Ley *et al.*, 2007).

Els sistemes dunars tenen diversos serveis ecosistèmics, dels quals destaquen: control d'erosió de la costa, protecció del vent i d'aerosols, refugi de biodiversitat (amb flora i fauna especialitzada), regulació del clima i atracció de turisme (Elko *et al.*, 2016; Drius *et al.*, 2019). Malgrat això, moltes vegades es gestiona només pensant en el paisatge i els turistes que atrau (Ariza *et al.*, 2008).

A Catalunya, només el 15% de les platges tenen algun tipus de morfologia dunar, i d'aquestes hi ha algunes en les quals el sistema dunar s'ha hagut de recuperar

després d'un episodi de destrucció antròpica. A la província de Girona han desaparegut les dunes del 61% de les platges, i en el 26% ha disminuït l'hàbitat dunar. Aquest canvi és degut principalment al canvi d'usos del sòl i a la urbanització de la costa (Garcia-Lozano, 2019). Més concretament, a la comarca del Baix Empordà s'observa que les dunes no acostumen a presentar el patró habitual; moltes vegades són franges discontinües de vegetació amb un sol cordó dunar. Això es deu que han estat molt alterades per accions antròpiques (construccions i/o neteja mecànica de la sorra, entre d'altres) i no s'han pogut desenvolupar i evolucionar adequadament de manera natural (Deplan, 2008).



La platja de Castell és un exemple de disminució del sistema dunar (Garcia-Lozano, 2019). La platja va ser aplanada per ús turístic als anys 80, però anteriorment existia un sistema dunar al sector oest. Actualment és un espai gestionat i protegit (Generalitat de Catalunya, 2003), en el qual s'ha potenciat el sistema dunar que ja existia a la part oest, i s'ha afavorit la formació de dunes a la part est. El resultat entre sectors és molt diferent, però fins el moment no s'ha analitzat per quin motiu és així.

L'objectiu del treball és avaluar els principals factors físics i biològics que contribueixen a la formació i manteniment dels sistemes dunars en la platja de Castell, per a determinar si aquests poden explicar les diferències observades en la recuperació de les dunes dels dos sectors de la platja.

Material i mètode

Àrea d'estudi

L'àrea d'estudi és la platja de Castell, a la Costa Brava, que s'engloba dins de l'Espai Natural Protegit de Castell-Cap Roig. Està situada al sector oriental de la comarca del Baix Empordà, a la part septentrional de les serralades Costaneres Catalanes i pertany al municipi de Palamós (Fig. 2).

És una platja encaixada, limitada per roques a ambdós costats (Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners, CIIRC, 2010). La morfologia de la

platja està condicionada per l'aportació de sediments de la riera d'Aubi, que actualment desemboca al centre de la platja. Es tracta d'un espai que també té interès cultural, per la presència d'un jaciment arqueològic a la Punta de Castell (turó que delimita la platja per l'est, altrament conegut com Agulla de Castell); el poblat ibèric de sa Cobertera de Castell. Com a Espai Natural Protegit, es regeix pel Pla Especial de Protecció del Medi Natural i del Paisatge de Castell-Cap Roig. És únic també degut a la seva història. És de les poques platges verges que queden a la costa Brava, gràcies a les mobilitzacions que van tenir lloc quan es va voler edificar a la plana del seu darrere i al bosc del costat. Aquesta iniciativa, que va portar a la formació de l'associació Salvem Castell, va aconseguir que es requalifiquessin els terrenys i s'inclougués en el Pla d'Espais d'Interès Natural (PEIN), conjuntament amb l'elaboració del Pla Especial. Es va declarar com a sòl no urbanitzable l'any 1997, i el 2003 es va concretar el pla especial mencionat anteriorment. A més a més, es tracta d'un espai rellevant pel que fa a diversitat biològica, ja que inclou l'hàbitat d'interès europeu d'àmbit territorial reduït *Crucianellion maritimae* (Generalitat de Catalunya, 2003; QU4TRE, 2019; Seguí, 2010).

Clima

Es tracta d'una regió de clima mediterrani i, per tant, caracteritzada per estius secs i calorosos (Servei Meteorològic de Catalunya, 2017; 2022). És una platja

| Any | Actuació | Resultats |
|------|---|---|
| 1980 | Canalització de la sortida d'aigües residuals | Anivellació de la platja i canvi en la desembocadura de la riera |
| 2001 | Tancat del sistema dunar oest | Manteniment de la vegetació i nova colonització |
| 2003 | Extracció de plantes al·lòctones i plantació i sembla d'esp. dunars | Erradicació d'atzavara però queda iuca. A 2023 hi ha poblacions de totes les sp. dunars plantades |
| 2004 | Ampliació tancat i instal·lació retenidor de sorra | Increment zona dunar. Retenidor no s'adequa a les necessitats |
| 2005 | Retirada retenidor de sorra | Retirada sense perjudici per a l'ecosistema |
| 2017 | Organització i delimitació dels accessos | Canvi en els serveis, menys visitants al sector oest, ampliació del sistema dunar |
| 2020 | Instal·lació retenidors de sorra sector est i oest | Poca morfologia dunar sector est però ben formada sector oest |
| 2023 | Renovació dels retenidors | Encara no són apreciables |

TAULA 1. Recull de les actuacions fetes a partir de l'any 2000 a les dunes de la platja de Castell i resultats obtinguts (Adianthus, 2003; 2004; 2006; QU4TRE, 2019; Ajuntament de Palamós, 2023).

Summary of the interventions made in Castell's dunes since year 2000, and results obtained (Adianthus, 2003; 2004; 2006; QU4TRE, 2019; Palamós city council, 2023).

orientada cap al sud on domina la tramuntana, tot i que també hi bufa vent de llevant i de garbí (Generalitat de Catalunya, 2003).

Per a analitzar l'onatge i els vents dominants de la zona, s'han pres com a mostra dades del punt SIMAR de Puertos del Estado més proper, concretament el punt de la graella número 2122142 (3.167E, 41.833N), en el període de temps comprès entre l'any 1958 i el 2023 (Puertos del Estado, 2023).

Gestió de l'espai

Les actuacions de l'administració local s'han obtingut contactant amb les persones responsables de la gestió d'aquesta zona de l'espai d'interès natural: Josep Vilanova, cap de l'Àrea de Medi Ambient de l'Ajuntament de Palamós; i Francesc-Xavier Roig i Munar. A partir d'aquesta informació i contrastant amb ortofotos, s'ha elaborat una taula resum (Taula 1) de les actuacions que s'han anat fent al llarg dels anys.

Evolució històrica de les dunes

Per a avaluar l'evolució de la superfície del sistema dunar de cada sector de la platja, s'han consultat les ortofotos des del VISSIR (Institut Cartogràfic i Geològic de

Catalunya, 2023). S'ha calculat mitjançant la creació de polígons i la suma de les seves àrees. S'han considerat zones amb dunes aquelles que es veien a la zona posterior de la platja i amb taques de vegetació dispersa. Durant el període 1945–2020 no hi ha ortofotos consecutives, raó per la qual només se n'han analitzat 6, escollides tenint en compte les actuacions de l'administració i els canvis en la platja. A partir de l'any 2008 ja hi ha ortofotos per a cada any, de manera que se n'han pogut obtenir dades de tots els anys fins el 2022. Cal esmentar, però, que aquest sistema és poc acurat i no permet afirmar amb certesa si hi havia dunes o no, fet pel qual s'ha complementat amb les entrevistes a Josep Vilanova i Francesc-Xavier Roig.

La distància de les dunes fins al mar s'ha mesurat pel període de 1945 a 2020 amb ArcMap, des de l'extrem dels sistemes dunars fins a la platja humida. S'ha considerat l'extrem de les dunes el punt amb vegetació esparsa més proper al mar del polígon amb major àrea de cada sistema dunar, i des d'aquest punt s'ha fet una línia recta fins al punt central de la platja humida. També s'ha mesurat l'amplada de la platja per cada un dels sectors fent una línia recta des del punt més allunyat de la costa fins al punt central de la platja humida.

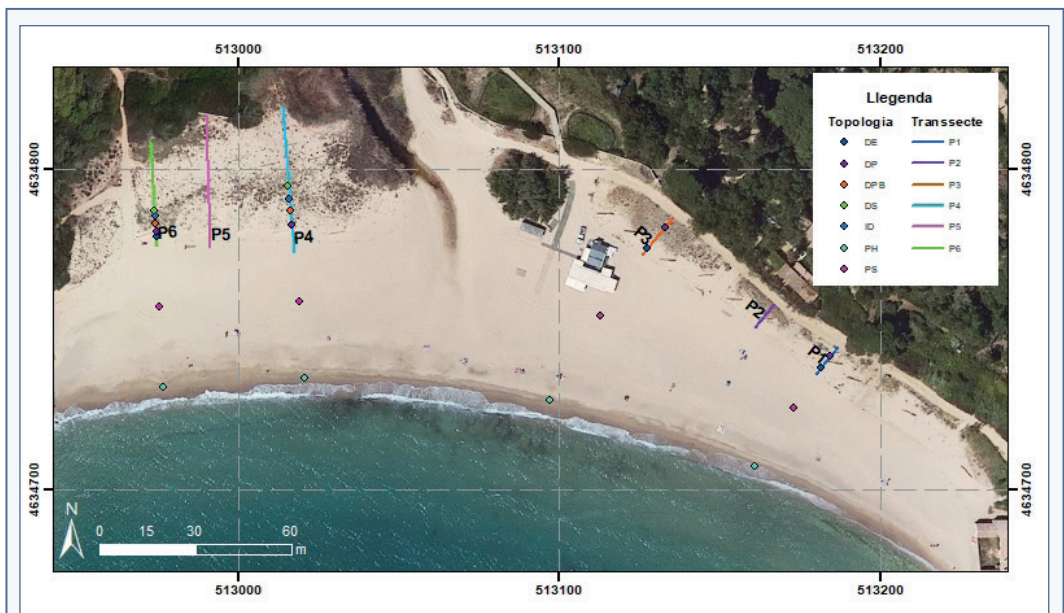


FIGURA 3. Transectes mostrejats el 2023, junt amb la posició de les morfologies dunars.

Transects and position of dune morphologies sampled in 2023.

S'ha mirat l'acumulació de sediment des de l'any 2020 a partir de l'alçada de les dunes presents als 6 transectes de vegetació. S'ha mesurat des de la base de la duna (coincident amb la base dels retenidors) fins al seu punt màxim.

Substrat

Per a mostrejar el substrat del sector est i oest de la platja, s'han fet 4 transectes, 2 a cada sector, (P1, P3, P4 i P6 de la Fig. 3). Aquests han consistit en transectes perpendiculars al mar, des de la platja humida fins a les dunes, en les quals s'ha extret mostra de les diverses topologies: platja humida (PH, zona on les onades puguen i baixen), platja seca (PS, zona entre el límit de la platja i on arriben les onades), duna embrionària (DE, primeres formacions amb vegetació), duna primària (DP, cresta de la duna del primer cordó dunar), rereduna (DPB, part de darrere de la duna), depressió interdunar (ID, espai entre 2 cordons dunars), duna secundària (DS, cresta de la duna del segon cordó dunar) (Ley *et al.*, 2007; Baldock, 2019).

En tots els punts s'han extret els 2 centímetres superficials de sediment i, addicionalment, en els punts de cresta de duna també s'ha mostrejat a 10 cm i 20 cm de profunditat.

Granulometria

L'anàlisi granulomètrica s'ha fet seguint el mètode descrit en el Procediment Normalitzat de Treball (PNT) per al pretractament de sorres, d'argiles i l'ús del Coulter LS 230 (veure <https://www.ub.edu/portal/web/ciencies-terra/laboratori-de-sedimentologia>). Primerament, s'han assecat les mostres i tamisat amb 3 tamisos de mides diferents: 4000 µm, 2500 µm i 2000 µm; i s'han pesat les fraccions derivades. Tot seguit, s'han pesat 4 gr de la fracció <2000 µm per fer la granulometria. S'ha eliminat la matèria orgànica de la mostra afegint 50 ml d'H₂O₂, i després s'ha usat polifosfat de sodi com a dispersant. Seguidament, s'han processat amb l'analitzador de partícules Coulter LS 230. Les anàlisis s'han realitzat al Laboratori de Sedimentologia de la facultat de Ciències de la Terra de la Universitat de Barcelona.

Seguint l'Escala Udden-Wentworth (Wentworth 1922), s'ha dividit la granulometria segons si la sorra és molt grollera (<2000 µm), grollera (<1000 µm), mitja (<500 µm) o fina (<250 µm).

Contingut de matèria orgànica

S'ha determinat el contingut de matèria orgànica per calcinació (equivalent a Loss On Ignition (Dean 1974)), seguint el procediment del PNT corresponent (veure <https://www.ub.edu/portal/web/ciencies-terra/laboratori-de-sedimentologia>). S'han pesat 6 gr de mostra de la fracció <2000 µm i triturat amb morter d'àgata elèctric. Seguidament, s'han posat a la mufla a 550°C durant 4 hores per a cremar la matèria orgànica. Per últim s'han pesat les mostres per a veure el pes perdut amb la crema de la matèria orgànica. Les anàlisis s'han realitzat al Laboratori de Sedimentologia de la facultat de Ciències de la Terra de la Universitat de Barcelona.

Vegetació

La vegetació s'ha avaluat al sector est i oest. A cada sector s'han fet 3 transectes perpendiculars al mar. Aquests transectes han consistit en quadrats successius de 4 × 2 m, des de la zona acordonada fins al final del sistema dunar (localització dels transectes a la Fig. 3). Per cada un dels quadrats s'ha inventariat la vegetació, alhora que s'ha mirat el recobriment vegetal general i específic, fent servir el sistema Braun-Blanquet (Fuller & Conard, 1932).

Des de l'any 2003, l'Ajuntament de Palamós ha fet esporàdicament mostrejos de les espècies vegetals presents a la platja. Existeixen llistats de les espècies de la platja pels anys 2003, 2004, 2006 i 2019. S'ha analitzat l'evolució del nombre de plantes i se'ls ha assignat un tipus funcional segons l'hàbitat en el quals les podem trobar. S'han distribuït en 7 categories (Bolòs, 2005; Pintó *et al.*, 2021; Universitat de les Illes Balears, 2023): bardissa, comuna en arenals però no exclusiva, duna primària o embrionària, duna secundària, neòfits, roqueters i ruderals.

Resultats

Onatge i vent de la platja

L'ona més freqüent mostra una alçada significant (Hs) inferior a 1 m i un període de pic (Tp) entre 5 i 6 segons, encara que les alçades màximes poden arribar a presentar valors de fins a 7 m (Puertos del Estado, 2023). Les ones provenen sobretot de direcció nord-est i sud-oest (Fig. 4), coincident amb la direcció de les corrents de deriva del transport longitudinal de materials de Catalunya (Garcia-Lozano, 2019).

Els vents dominants són els de component nord (tramuntana) en primer lloc, seguits dels de sud-oest (garbí). Malgrat això, els vents del sud (migjorn) i nord-est (gregal) també són rellevants (Fig. 5).

La totalitat de la platja està orientada cap al sud, fet pel qual els vents formadors de dunes tindran la mateixa influència en els dos sectors. Aquest tipus de vents són els de component sud, i com es veu a la Fig. 5 a Castell els més destacables són garbí i migjorn. Les dunes creixen per l'acció combinada de les ones i del vent, ja que les ones porten i depositen sediments a la platja, i el vent el transporta fins al sistema dunar, on s'acumula per fregament (Ley *et al.*, 2007).

Gestió de l'espai

Les actuacions de gestió de l'espai es compilen a la Fig. 6. El 1980 hi va haver la canalització de la sortida d'aigües de la depuradora, obres que van resultar en un canvi en la desembocadura de la riera i l'anivellació de la platja per al seu ús turístic. En aquell moment van quedar formes relictives de dunes a la part oest, però no es va tornar a fer cap actuació fins el 2001, quan es va instal·lar un tancat al sistema dunar. El 2003 es van extreure les plantes invasores dels sistema oest (iuca i atzavara, *Yucca sp.* i *Agave americana* respectivament), es van sembrar llavors de *Pancratium maritimum* (lliri de mar) i es va fer una plantació d'espècies dunars: 200 individus d'*Ammophila arenaria* (borró), 100 individus d'*Elymus farctus* (jull de platja), 50 individus de *Medicago marina* (melgó) i 50 individus d'*Eryngium maritimum* (card marí). Aquestes actuacions van afavorir la consolidació del sistema dunar incipient (Martínez *et al.*,

2013) i van marcar la comunitat vegetal de l'espai, per molt que hi hagués una alta mortalitat dels individus plantats. D'altra banda, es va reduir considerablement el nombre de plantes al·lòctones però no es van erradicar per complet, ja que encara avui dia queda iuca. El 2004 es va ampliar el tancat que s'havia instal·lat, i es va provar un retenidor de sorra fet de canyes. Aquest retenidor no va funcionar i es va acabar retirant l'any següent (2005). Durant els anys següents es va anar ampliant el tancat segons necessitat, fins el 2017 que es va ordenar l'accés a la platja i es va protegir el sistema dunar est. Aquest mateix any van canviar la concessió de serveis de la platja, i es va passar de dues guinguetes (una a cada sector de la platja) a només una al sector est. El 2020 es van instal·lar retenidors a ambdós sectors

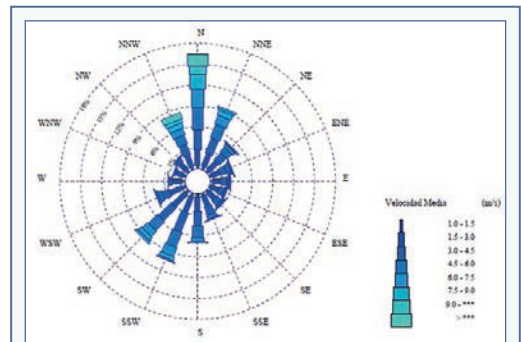


FIGURA 5. Gràfica de la direcció i velocitat mitjana (m/s) dels vents dominants de la zona vora la platja de Castell, per al període 1958-2022 (Puertos del Estado, 2023).

Direction and mean speed (m/s) of the dominant winds near Castell beach, between 1958 and 2022 (Puertos del Estado, 2023).

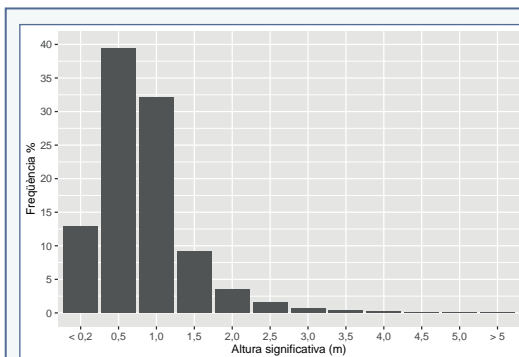
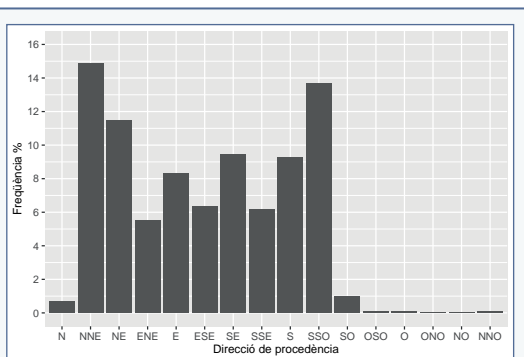


FIGURA 4. Direcció i alçada significativa de les onades de la zona vora la platja de Castell, per al període 1958-2022 (Puertos del Estado, 2023).

Significant height and direction of waves near Castell beach, between 1958 and 2022 (Puertos del Estado, 2023).



per a afavorir la formació de dunes, i el 2023 s'han renovat. Aquesta gestió ha funcionat molt bé al sistema oest, en el qual els retenidors antics s'han quedat colgats de sorra, però en el sector est no ha tingut tant èxit. Actualment es fa una anivellació desigual dels dos sectors de la platja, a la part est es fa fins a peu de duna i a l'oest només a la zona d'ús (deixant una distància d'uns metres fins al sistema dunar).

Evolució històrica de les dunes

A les Figs. 6 i 7, s'observa que el sistema dunar oest ja era present als anys 1945 i 1956 amb uns 3.250 m². Va tenir una davallada en superfície en el període 1956–1991 amb un mínim d'aproximadament 500 m², deguda a l'anivellació de la platja que es va fer junt a les obres de canalització de la sortida de la depuradora. A partir de llavors aquesta ha augmentat fins a arribar a uns 3.300 m²; un valor similar a l'inicial. En canvi, el 1945 la part posterior de la zona est de la platja estava ocupada per la riera. Posteriorment, quan la riera ja s'havia desviat, es va fer servir com a aparcament i això va impedir el desenvolupament d'un sistema dunar per compactació i trepig de la sorra (Martínez *et al.*, 2013). Per tant, aquest sistema dunar no va començar a prendre forma fins més tard. En les ortofotos s'intueix que apareixen morfologies incipients l'any 2001, i a partir de llavors ha anat augmentant la seva superfície, però no ha estat possible contrastar-ho amb altres fonts fins l'any 2017, en el qual s'instal·la un tancat protector i a partir del qual la superfície dunar est augmenta progressivament. Tot i això, el sistema oest té una superfície molt

superior a l'est (Fig. 6) perquè l'últim és una zona amb més influència de visitants on s'ubiquen la major part dels serveis de la platja i l'anivellació es fa fins a peu de duna, factors que afecten negativament al creixement dunar (Pintó *et al.*, 2012; Garcia-Lozano, 2019).

Alhora que es dona l'evolució de la superfície del sistema dunar també canvien les dimensions de la platja (Fig. 8). Des del 1945, l'amplada de la platja disminueix a ambdós sectors un total d'uns 10 m a la zona est i 20 m a la zona oest, encara que el 1956 i el 2017 hi ha dos repunts, seguint un mateix patró. Per tant, es pot constatar que s'està donant un procés erosiu i la platja es troba en retrocés, com ja apuntava el CIIRC (2010).

Encara que hi hagi processos erosius, en el període 2020–2023 les dunes han crescut en alçada, ja que s'ha observat acumulació de sediment a partir de la base dels retenidors col·locats el 2020. A la part est la morfologia dunar encara és incipient i l'alçada màxima que assoleixen les dunes és de 15 cm. En canvi, la part oest presenta una cresta de duna marcada i l'alçada màxima dunar és de 82,5 cm. Per tant, l'acumulació de sediment a la part oest és major que a la part est, ja que les dunes que s'han format havent transcorregut el mateix període de temps són més altes.

Substrat

Granulometria

El diàmetre mig del sediment de la platja humida i platja seca es troba entre els 470 µm i 630 µm, encara que en el sector est és menor que a l'oest. En el cas de les dunes passa el contrari, el diàmetre mig és major a

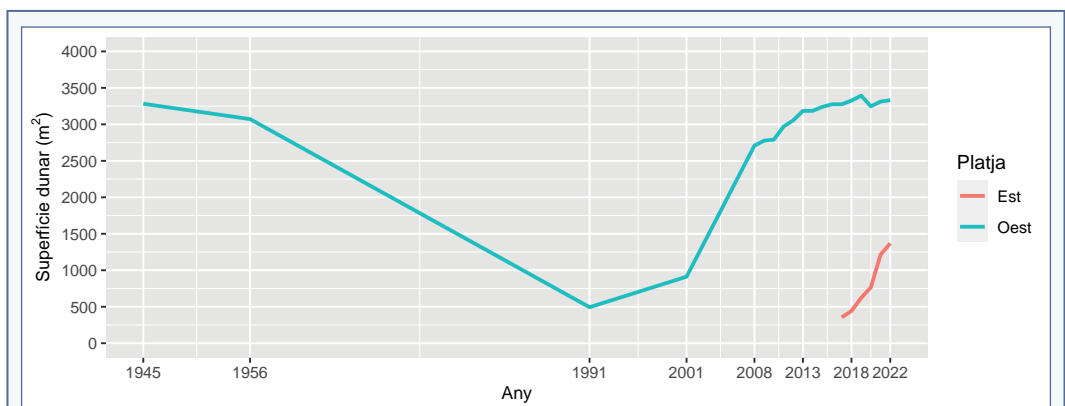


FIGURA 6. Gràfica de la superfície (m²) ocupada per cada un dels sistemes dunars des de l'any 1945 fins el 2022.

Graph of the surface (m²) occupied by each dune system between 1945 and 2022.

la part est. La granulometria s'ordena de la mateixa manera, la sorra és més grollera a la platja oest i a la duna est (Taula 2). Encara que al sector oest la mida de gra sigui major a la platja que a la duna, i a l'est a l'inrevés, en ambdós sectors hi ha una correlació positiva entre la mitjana de mida de gra i desviació estàndard.

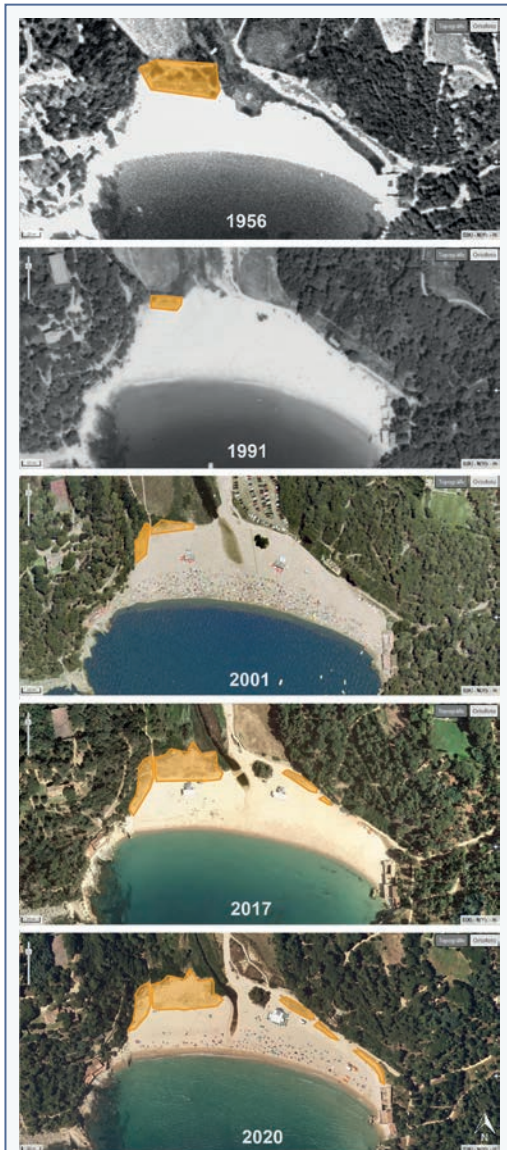


FIGURA 7. Ortofotos de la platja de Castell per al període 1956-2020, on es marca la zona aproximada ocupada per dunes.

Castell's beach aerial photographs between 1956 and 2020, with the approximate dune systems area marked.

El sediment de les dunes de la part est es distribueix de manera que a la superfície hi ha el de menor grandària (entre 400 μm i 500 μm) i en profunditat augmenta el seu diàmetre (al voltant dels 800 μm), perfil típic dunar (Ley *et al.*, 2007). En canvi, el sector dunar oest presenta la major mida de gra a la superfície però aquesta decreix en profunditat (Taula 2).

Contingut de matèria orgànica

Els valors de % LOI 550 (*Loss On Ignition*) de la platja es comprenen entre el 0,5% i el 0,9% (Taula 2), valors similars als de l'estudi de Guara i Currás (1991). Ambdós sectors presenten poc contingut de matèria orgànica, característica pròpia dels sistemes dunars (Rodríguez Gallego, 2013).

Vegetació

Des de l'any 2003 s'han fet 5 mostrejos de vegetació, els 4 primers encarregats per l'ajuntament de Palamós a una consultoria externa. En aquests s'anoten les espècies vegetals presents a la platja, sense especificar la seva ubicació. L'últim mostreig de vegetació es correspon al realitzat per l'autora d'aquest treball. El nombre d'espècies ha augmentat al llarg dels anys degut que el sistema dunar ha avançat en la successió ecològica (Gallego-Fernández *et al.*, 2011) i alhora ha incrementat en superfície, i aquest fet ha permès la colonització de noves espècies. Tot i això, hi ha una petita davallada entre el 2019 i el 2023 ja que en l'últim mostreig no s'han trobat algunes plantes anuals, i tampoc s'han inclòs les espècies que quedaven fora dels sistemes dunars (Fig. 9). Hi ha 6 espècies pròpies de duna primària, embrionària i secundària, que apareixen en tots els inventaris: *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus*, *Eryngium maritimum*, *Medicago marina*, *Pancratium maritimum* i *Ononis natrx ramosissima*.

Atenent al tipus funcional, les espècies presents els anys 2003 i 2006 eren pròpies de duna primària, embrionària i secundària. El 2004 apareixen també espècies comunes en arenals encara que no exclusives. A la Fig. 10, s'observa que partir de 2019, com que hi ha un major nombre d'espècies, també es diversifica quant a tipus funcionals, i aquest canvi es manté fins el 2023.

El recobriment vegetal dels sistemes dunars el 2023 comprèn valors entre 21,25% i 47,41% (Taula 3). Els valors més alts corresponen al sector oest, que té un recobriment mitjà del 40,13%, respecte l'est que té un recobriment mitjà del 25%.

El sector dunar est presenta 3 espècies amb un recobriment superior al 10%, que juntes conformen el 40%: *Cynodon dactylon* (ruderal), *Plantago crassifolia* (duna secundària) i *Euphorbia terracina* (comuna en arenals però no exclusiva). En canvi, al sector oest només hi ha 2 espècies amb recobriment major de 10%, i juntes sumen el 34%: *Ammophila arenaria* i *Silene nicaensis* (ambdues de duna primària i embrionària) (Taula 3).

En el mostreig de 2023 s'ha vist que a la platja de

Castell hi ha 11 de les 35 espècies restringides als hàbitats de platja i duna de la costa catalana identificades per Pintó *et al.* (2021). Dues d'elles són *Ammophila arenaria* i *Silene nicaensis*, pròpies de duna primària i embrionària i dominants al sector oest de la platja. A la Taula 3 s'observa que dins del sector est, en el transsecte P1 (recobriment mitjà 21,88%) hi dominen 3 espècies: *Polygonum maritimum* (16,5%), *Bromus rubens* (13,5%) i *Cakile maritima* (9,5%). Dues d'aquestes espècies són

| Sector | Transsecte | Topografia | < 2 | < 4 | < 63 | < 125 | < 250 | < 500 | < 1000 | < 2000 | < 2500 | < 4000 |
|--------|------------|------------|------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|
| Est | P1 | PH | 0,34 | 0,41 | 1,21 | 2,96 | 33,04 | 93,44 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | PS | 0,23 | 0,29 | 2,02 | 3,92 | 12,14 | 58,97 | 91,92 | 99,62 | 99,89 | 100 |
| | | DE | 0,33 | 0,46 | 2,34 | 4,09 | 15,47 | 78,01 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| | | DP | 0,27 | 0,33 | 1,44 | 2,9 | 11,42 | 59,19 | 90,83 | 99,54 | 99,88 | 100 |
| | | DP10 | 0,22 | 0,3 | 1,69 | 3,12 | 7,88 | 38,24 | 82,23 | 99,37 | 99,81 | 100 |
| | DP20 | 0,24 | 0,31 | 1,43 | 2,58 | 5,61 | 30,73 | 74,98 | 99,1 | 100 | 100 | |
| | P3 | PH | 0,17 | 0,25 | 2,63 | 5,93 | 34,99 | 85,76 | 95,55 | 100 | 100 | 100 |
| | | PS | 0,08 | 0,14 | 1,19 | 2,28 | 6,86 | 35,67 | 82,61 | 99,86 | 100 | 100 |
| | | DE | 0,41 | 0,47 | 1,97 | 3,69 | 11,13 | 35,09 | 63,67 | 98,27 | 99,71 | 99,89 |
| | | DP | 0,35 | 0,44 | 2,03 | 4,18 | 18,5 | 81,68 | 96,35 | 99,8 | 99,98 | 100 |
| DP10 | | 0,24 | 0,32 | 1,16 | 2,52 | 9,74 | 43,5 | 87,9 | 100 | 100 | 100 | |
| DP20 | 1,04 | 1,14 | 2,72 | 4,9 | 14,46 | 44,2 | 73,1 | 95,39 | 97,49 | 98,14 | | |
| Oest | P6 | PH | 0,29 | 0,36 | 1,16 | 2,71 | 23,13 | 66,58 | 91,7 | 99,93 | 100 | 100 |
| | | PS | 0,03 | 0,1 | 1,57 | 3,21 | 8,24 | 34,2 | 79,73 | 99,08 | 99,38 | 99,61 |
| | | DE | 0,05 | 0,12 | 1,32 | 2,76 | 8,32 | 31,31 | 63,44 | 97,47 | 98,94 | 99,77 |
| | | DP | 0,12 | 0,19 | 1,6 | 3,03 | 6,96 | 34,56 | 91,68 | 100 | 100 | 100 |
| | | DP10 | 0 | 0,01 | 1,44 | 3,17 | 11,65 | 53,48 | 92,96 | 100 | 100 | 100 |
| | | DP20 | 0 | 0 | 1,84 | 3,77 | 13,61 | 63,55 | 95,82 | 100 | 100 | 100 |
| | | DPB | 0,26 | 0,34 | 1,5 | 2,95 | 12,24 | 61,03 | 95,26 | 100 | 100 | 100 |
| | | ID | 1,21 | 1,3 | 2,34 | 3,66 | 11 | 51,31 | 82,93 | 98,27 | 99,21 | 100 |
| | | DS | 0,06 | 0,14 | 1,44 | 2,6 | 7,33 | 35,52 | 85,34 | 99,98 | 99,99 | 100 |
| | | DS10 | 0,19 | 0,26 | 1,4 | 2,55 | 6,66 | 34,26 | 79,98 | 99,71 | 99,88 | 100 |
| | DS20 | 0,03 | 0,14 | 1,35 | 2,68 | 8,66 | 43,94 | 85,6 | 99,4 | 99,81 | 100 | |
| | P4 | PH | 0,26 | 0,32 | 1,48 | 3,8 | 23,26 | 66,5 | 90,74 | 99,81 | 100 | 100 |
| | | PS | 0,05 | 0,11 | 1,3 | 2,52 | 6,43 | 26,74 | 71,23 | 98,71 | 99,23 | 99,91 |
| | | DP | 0,13 | 0,18 | 1,16 | 2,15 | 6,07 | 46,97 | 96,62 | 100 | 100 | 100 |
| | | DP10 | 0,1 | 0,16 | 1,35 | 2,76 | 9,63 | 67,29 | 99,97 | 100 | 100 | 100 |
| | | DP20 | 0,03 | 0,14 | 1,51 | 3,36 | 13,73 | 72,01 | 98,87 | 100 | 100 | 100 |
| | | DPB | 0,11 | 0,16 | 0,73 | 1,57 | 10,77 | 60,75 | 96,99 | 100 | 100 | 100 |
| | | ID | 0,11 | 0,2 | 1,76 | 3,17 | 8,73 | 45,14 | 89,62 | 99,92 | 100 | 100 |
| DS | | 0,26 | 0,33 | 0,97 | 1,9 | 8,45 | 49,8 | 92,54 | 99,98 | 100 | 100 | |
| DS10 | 0,07 | 0,16 | 1,51 | 3,06 | 10,47 | 57,67 | 88,34 | 99,28 | 99,83 | 100 | | |
| DS20 | 0,07 | 0,29 | 2,59 | 5,08 | 14,16 | 58,85 | 94,71 | 99,91 | 100 | 100 | | |

TAULA 2. Granulometria (percentatge) del sediment en les diverses topologies (mostreig 2023).

Granulometry (percentage) of sediment in the different topologies (2023 sampling).

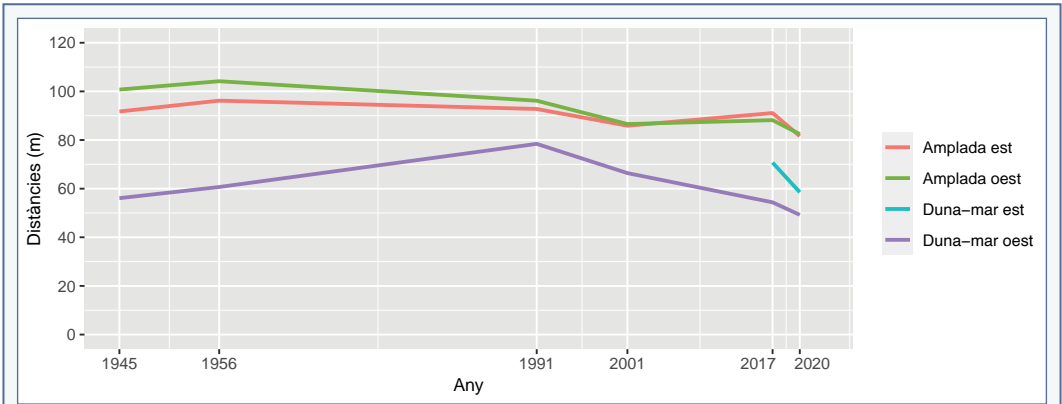


FIGURA 8. Evolució de l'amplada de la platja i de la distància de les dunes fins al mar en el període 1945-2020, per sectors.

Evolution of the beach's width and distance between dunes and sea in the period between 1945 and 2020, divided by sector.

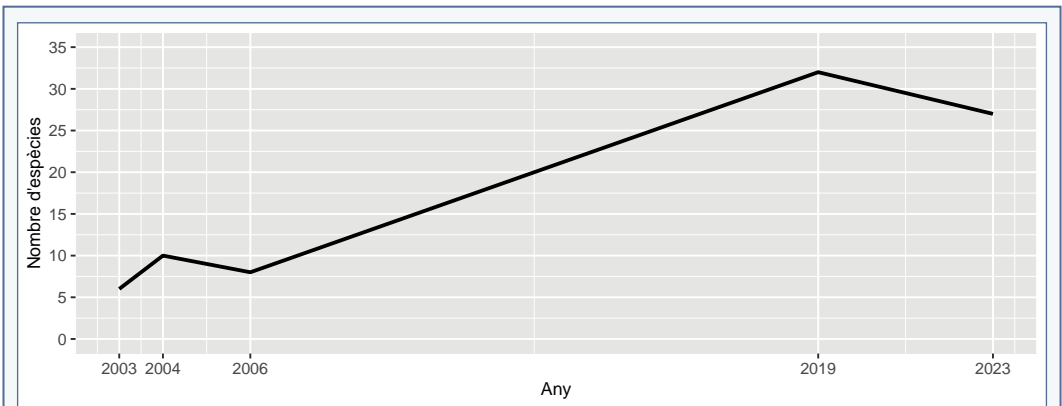


FIGURA 9. Gràfica amb el nombre d'espècies presents als inventaris de vegetació.

Graph with number of species present in the vegetation inventories.

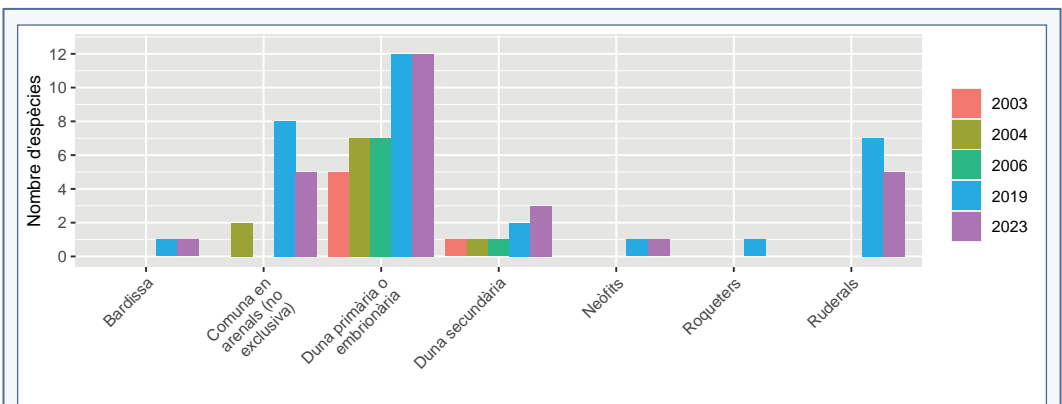


FIGURA 10. Gràfica del nombre d'espècies segons el seu tipus funcional, per any inventariat.

Graph of number of species classified according to their functional type and year of inventory.

pròpies de duna primària i embrionària, i *B. rubens* és ruderal. El transecte P2 (recobriment mitjà 21,3%) també té 3 espècies dominants: *Plantago crassifolia* (27%), *Cynodon dactylon* (15,3%) i *Cakile maritima* (9,5%). La primera espècie és característica de duna secundària, la segona és ruderal i l'última és de duna primària i embrionària. L'últim transecte d'aquest sector, P3 (recobriment mitjà 29,0%), té només dues espècies que dominen: *Euphorbia terracina* (11,7%) i *Eryngium maritimum* (9,2%). *E. terracina* és comuna en arenals però no exclusiva i *E. maritimum* és de duna primària i embrionària. Així doncs, les tres espècies que dominen en la mitjana del sector est, estan situades en els transectes P2 i P3.

En el sector oest, el transecte P4 (recobriment mitjà 32,9%) té 2 espècies dominants: *Euphorbia paralis* (9,5%) i *Elymus farctus* (8,9%). Les dues són característiques de duna primària i embrionària. En el transecte P5 (recobriment mitjà 41%) hi ha 3 espècies que dominen: *Silene nicaeensis* (20,9%), *Pancratium maritimum* (17%) i *Ononis natrix ramosissima* (8,5%). Les primeres dues espècies són de duna primària i embrionària i la tercera és de duna secundària. Finalment, en el transecte P6 (recobriment mitjà 47,4%) hi ha 3 espècies dominants: *Ammophila arenaria* (34,6%), *Silene nicaeensis* (20,7%) i *Medicago marina* (11,7%). Les tres espècies pertanyen a dunes primàries i embrionàries. De les dues espècies

| Espècie | P1 | P2 | P3 | P4 | P5 | P6 | Total sector est | Total sector oest |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|-------------------|
| <i>Alyssum maritimum</i> | 0,025 | | | | | 0,025 | 0,025 | 0,025 |
| <i>Ammophila arenaria</i> | | | | | 0,025 | 0,346 | | 0,185 |
| <i>Bromus diandrus</i> | 0,050 | | 0,025 | | | | 0,038 | |
| <i>Bromus rubens</i> | 0,135 | 0,082 | 0,047 | 0,054 | 0,061 | 0,034 | 0,088 | 0,050 |
| <i>Cakile maritima</i> | 0,095 | 0,095 | 0,028 | 0,048 | 0,043 | 0,016 | 0,073 | 0,036 |
| <i>Calystegia soldanella</i> | | | | | 0,028 | 0,047 | | 0,037 |
| <i>Centaurea aspera</i> | | | 0,050 | | 0,062 | | 0,050 | 0,062 |
| <i>Cutandia maritima</i> | | | | 0,018 | | | | 0,018 |
| <i>Cynodon dactylon</i> | | 0,153 | | | 0,025 | | 0,153 | 0,025 |
| <i>Elymus farctus</i> | 0,068 | 0,047 | 0,066 | 0,089 | 0,082 | 0,044 | 0,060 | 0,072 |
| <i>Eryngium maritimum</i> | 0,046 | 0,022 | 0,092 | 0,033 | 0,083 | 0,030 | 0,053 | 0,049 |
| <i>Euphorbia paralis</i> | 0,030 | 0,050 | | 0,096 | 0,066 | 0,017 | 0,040 | 0,060 |
| <i>Euphorbia terracina</i> | | | 0,117 | | | | 0,117 | |
| <i>Lagurus ovatus</i> | 0,025 | | | 0,005 | 0,018 | 0,055 | 0,025 | 0,026 |
| <i>Matthiola sinuata sinuata</i> | | 0,025 | | 0,012 | 0,039 | 0,025 | 0,025 | 0,025 |
| <i>Medicago littoralis</i> | 0,015 | 0,038 | 0,050 | | 0,005 | | 0,034 | 0,005 |
| <i>Medicago marina</i> | 0,050 | 0,025 | 0,025 | 0,067 | 0,043 | 0,117 | 0,033 | 0,075 |
| <i>Ononis natrix ramosissima</i> | | | | | 0,085 | | | 0,085 |
| <i>Pancratium maritimum</i> | | | | 0,015 | 0,170 | 0,018 | | 0,068 |
| <i>Plantago crassifolia</i> | 0,025 | 0,270 | | 0,005 | | | 0,148 | 0,005 |
| <i>Polygonum maritimum</i> | 0,165 | 0,063 | 0,015 | 0,033 | 0,038 | | 0,081 | 0,035 |
| <i>Salsola kali</i> | 0,025 | 0,025 | | | 0,027 | 0,023 | 0,025 | 0,025 |
| <i>Scabiosa atropurpurea</i> | | | | | | 0,025 | | 0,025 |
| <i>Silene nicaeensis</i> | 0,018 | 0,045 | 0,026 | 0,072 | 0,209 | 0,208 | 0,029 | 0,163 |
| <i>Smilax aspera</i> | | | | | 0,005 | 0,025 | | 0,015 |
| <i>Sonchus tenerrimus</i> | | | | | 0,025 | | | 0,025 |
| <i>Xanthium echinatum italicum</i> | 0,025 | 0,015 | 0,020 | 0,008 | 0,007 | | 0,020 | 0,008 |

TAULA 3. Recobriment vegetal segons espècie (percentatge, mostreig 2023).

Plant cover per species (percentage, 2023 sampling).

que dominen al sector oest, *Ammophila arenaria* es troba al transsecte P6 i *Silene nicaeensis* a P5 i P6.

Discussió

La diferència d'alçada dunar entre sectors, deguda a una acumulació diferencial de sediment, s'atribueix a que el sector est té menys vegetació i això dificulta la captació de sorra (Ley *et al.*, 2007; Davidson-Arnott, 2010). Alhora, queda darrere la Punta de Castell i és el sector de la platja que acull tots els serveis (guingueta, caseta de socorrisme i servei de lloguer de caiacs) i aquests obstacles podrien disminuir la dinàmica de sediment de la zona. També seria possible que la diferència fos fruit de la diferència de desnivell entre zones, sent l'oest més planer que l'est, però no es pot contrastar aquesta afirmació.

La major mida de gra de la platja oest respecte la duna d'aquest sector s'explica pel transport eòlic del sediment, que per la velocitat del vent només pot transportar sorres de diàmetre petit o mitjà (Ley *et al.*, 2007; Davidson-Arnott, 2010). A la part est es dona la situació contrària, i una possible explicació seria que l'anivellació de la platja estigués alterant el material aportat i el transport de sediment. D'altra banda, la distribució de mida de gra en profunditat atípica del sector oest segurament es degui que no hi ha obstacles per davant de les dunes que retinguin el sediment gruixut. També es podria hipotetitzar que els retenidors de sorra estan afavorint la captació de sediment amb un diàmetre de gra major.

La diferència de recobriment vegetal entre el sector est i oest es deu que el primer és un sistema dunar més jove i per aquest motiu amb menys vegetació. A part, com que hi ha molta més aflluència de visitants, el *trampling* (trepig de les dunes) és molt més freqüent, i aquest impedeix el creixement de vegetació (Santoro *et al.*, 2012).

Quant a les espècies presents als sistemes dunars, el confinament d'*A. arenaria* en un sol transsecte es deu que aquesta espècie colonitza espais amb gran dinàmica sedimentària (Willis *et al.*, 1959) i aquestes condicions no es donen a la platja de Castell, fet pel qual encara que trobem individus a la platja no s'ha estès per tot el sistema dunar. Tot i això, hi ha 10 altres espècies que no estan restringides a un espai concret, fins i tot algunes d'elles dominants en el sector oest, que també trobem en sistemes dunars de les platges de la costa

catalana. Per tant, és un indicador que hi ha diversitat d'espècies pròpies del sistema en el qual es desenvolupen. En aquest context, és sorprenent el fet que no dominin plantes com *Elymus farctus* (present però no dominant en cap dels transsectes) o *Sporobolus pungens* (no present), ja que són espècies pioneres en la colonització dunar (Marcenò *et al.*, 2018). Això podria indicar que la colonització del sistema oest, en part, s'ha donat a partir de vegetació preexistent del sistema dunar de 1945. A més a més, la plantació que es va fer el 2003 també ha aportat espècies al sistema i ha condicionat en gran mesura el tipus de comunitat que s'hi ha format. Al sector est, la colonització d'espècies es pot haver donat a partir de les poblacions existents a la part oest de la platja, encara que també hi ha altres espècies presents que podrien haver arribat per via humana. Al cap i a la fi, les comunitats vegetals d'ambdós sectors són fruit de la renaturalització de l'espai i aquest fet ha marcat el tipus d'espècies que hi podem trobar actualment.

Conclusions

El sistema dunar est i oest són diferents a simple vista, però també ho són a nivell de substrat i d'espècies vegetals:

- Existeix una major dinàmica de sediment al sector oest de la platja, i aquest és un factor que podria estar afavorint el creixement de les dunes.
- El sector est presenta menor recobriment d'espècies vegetals, condicionant que limita el correcte desenvolupament del sistema dunar.
- La pressió antròpica és molt major al sector est perquè és una zona que agrupa els serveis de la platja i està molt més concorreguda. L'oferta d'aquests serveis implica unes infraestructures que poden condicionar o fins i tot bloquejar el transport de sediment en algun tros del sector est de la platja. Malgrat això, el pla de gestió de la platja ja contempla aquesta possibilitat i les infraestructures dels serveis no són permanents, sinó que només s'hi instal·len durant la temporada d'estiu que és quan hi ha més visitants.

Els factors biòtics i abiòtics estudiats no donen una explicació completa de per què la recuperació dunar dels dos sistemes de la platja de Castell és diferent. Així doncs, deu haver-hi altres factors que condicionen en major mesura el desenvolupament dels sistemes dunars de la platja i que podrien ser objecte de futures

recerques, com podrien ser el temps d'evolució de cada zona, la gestió diferencial de l'espai o la distribució del sediment al llarg de la platja.

Agraïments

He d'agrair a Josep Vilanova i Marc Aviñó (Àrea de Medi Ambient, Ajuntament de Palamós) i a Francesc-Xavier Roig i Munar (consultoria de medi ambient QU4TRE), per la seva col·laboració, guia, i per permetre l'estudi de l'espai natural protegit. A Carme Bladé i Antoni Calafat (Universitat de Barcelona), i als revisors per les seves aportacions i suggeriments. També vull agrair a la família i amics que han fet possible aquest treball.

Bibliografia

- Adianthus (2003).** Informe del seguiment de la vegetació de la platja de Castell. Inèdit.
- Adianthus (2004).** Informe del seguiment de la vegetació de la platja de Castell. Inèdit.
- Adianthus (2006).** Informe del seguiment de la vegetació de la platja de Castell. Inèdit.
- Ariza, E., Jiménez, J. A. & Sardá, R. (2008).** Critical assessment of beach management on the Catalan coast. *Ocean and Coastal Management*, 51 (2), 141-60. <https://doi.org/10.1016/j.oceco-man.2007.02.009>
- Baldock, T. (2019).** Swash Zone Dynamics. *Encyclopedia of Earth Sciences Series*, 1664-74.
- Beroset, F. (30 juliol 2023).** *The Formation, Erosion & Maintenance of Coastal Dunes*. <https://dunedoctors.com/how-coastal-dunes-evolve/>
- Bolòs, O. de. (2005).** *Flora manual dels Països Catalans*. Pòrtic.
- Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CI-IRC). (2010).** *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*. Generalitat Catalana. Departament de Territori. https://territori.gencat.cat/ca/01_departament/documentacio/territori-i-urbanisme/ordenacio_territorial/llibre_verd_estat_de_la_zona_costanera/
- Davidson-Arnott, R. (2010).** *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press.
- Dean, W. E. (1974).** Determination of carbonate and organic matter in calcareous sediments and sedimentary rocks by loss on ignition: comparison with other methods. *Journal of Sedimentary Petrology*, 44, 242-248.
- DEPLAN. (2008).** Catalogació i diagnosi dels sistemes dunars litorals de les comarques del Baix Empordà i la Selva. Inèdit.
- Drius, M., Jones, L., Marzalletti, F., de Francesco, M. C., Stanisci, A. & Carranza, M. L. (2019).** Not just a sandy beach. The multi-service value of Mediterranean coastal dunes. *Science of the Total Environment*, 668, 1139-55. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.02.364>
- Elko, N., Brodie, K., Stockdon, H., Nordstrom, K. F., Houser, C., McKenna, K., Moore, L. J., Rosati, J. D., Rugiero, P., Thuman, R. & Walker, I. J. (2016).** Dune Management Challenges on Developed Coasts. *Shore & Beach*, 84 (1), 15.
- Fuller, G. D. & Conard. H. S. (1932).** Plant Sociology, the study of Plant Communities, traducció oficial de l'Alemanys "Pflanzensoziologie", 30-32.
- Gallego-Fernández, J. B., Sánchez, I. A. & Ley, C. (2011).** Restoration of isolated and small coastal sand dunes on the rocky coast of northern Spain. *Ecological Engineering*, 37 (11), 1822-32. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.017>
- García-Lozano, C. (2019).** *Els sistemes dunars de la costa catalana. Evolució històrica, estat actual i potencial de restauració*. [Tesi doctoral] Universitat de Girona. <http://hdl.handle.net/10803/668331>
- Generalitat de Catalunya. (2003).** *Pla Especial de Protecció del Medi Natural i del Paisatge de Castell-Cap Roig*. Accedit 15 abril 2023. https://mediambient.gencat.cat/webj.content/home/ambits_dactuacio/patrimoni_natural/senp_catalunya/el_sistema/plans_especials_de_proteccio_del_medio_natural_i_del_paisatge/plans_aprovats_definitivament/articles/castell_cap_roig.pdf
- Guara, M., Currás, R. (1991).** Una aportación al conocimiento edáfico de las áreas dunares. *Ecología*, 5, 101-110. https://www.mapa.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_REPN%2FE-CO_1991_5_101_110.pdf
- Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (22 de juliol de 2023)** Vissir 3. <http://srv.icgc.cat/vissir3/index.html?lang=esl>
- Ley, C., Gallego-Fernández, J. B. & Vidal-Pascual, C. (2007).** *Manual de dunas costeras*. Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Costas.
- Marcenò, C., Guarino, M. R., Loidi, Herrera, J. M., Isermann, M., Knollová, I., Tichý, L., Tzonev, R. T., Rosario, A. T., FitzPatrick, Ú., Iakushenko, D., Janssen, J. A. M., Jiménez-Alfaro, B., Kacki, Z., Keizer-Sedláková, I., Kolomiychuk, V., Rodwell, J. S., Schaminée, J. H. J., Silc, U. & Chytry, M. (2018).** Classification of European and Mediterranean coastal dune vegetation. *Applied Vegetation Science*, 21 (3), 533-59. <https://doi.org/10.1111/AVSC.12379>
- Martínez, M L., Gallego-Fernández, J. B. & Hesp, P. A. (2013).** *Restoration of Coastal Dunes: Trends and perspectives*. Springer Series on Environmental Management. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33445-0>
- Pintó, J., García-Lozano, C. & Varga, D. (2021).** Plantas vasculares típicas i exclusives dels hàbitats de platja i duna de la costa catalana. *Nemus*, 11, 69-81.
- Pintó, J., Martí, C. & Fraguell, R. M. (2012).** Evaluación de los sistemas dunares de la Costa Brava. En: R. Sardá, J. Pintó & J. F. Valls (Coord.) *Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas*, 73-86. Docu-

menta Universitaria.

- Puertos del Estado (10 de junio de 2023)** Predicción de oleaje, nivel del mar: Boyas y mareógrafos. <https://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- QU4TRE. (2019).** *Pla d'actuacions de restauració, rehabilitació i millora del sistema platja-duna de la platja de Castell (Palamós)*. Inèdit.
- Rodríguez Gallego, C. M. (2013).** *Caracteres Funcionales de Dunas Costeras del Sur de España*. [Tesi doctoral] Universitat de Màlaga. <http://hdl.handle.net/10630/7217>
- Santoro, R., Jucker, T., Prisco, I., Carboní, M., Battisti, C. & Acosta, A. T. R. (2012).** Effects of trampling limitation on coastal dune plant communities. *Environmental Management*, 49 (3), 534-42. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9809-6>
- Seguí, F. A. (2010).** *Salvem Castell: la veu d'un poble contra l'especulació urbanística*. CCG Edicions.
- Servei Meteorològic de Catalunya. (2017).** *Normals climàtiques Castell d'Aro*. <https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2018/01/26081915/BM-Castell-d-Aro1.pdf>
- Servei Meteorològic de Catalunya. (2022).** *El clima: descripció general*. <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima/descripcio-general/>
- Universitat de les Illes Balears. (11 de setembre de 2023).** *Herbari Virtual del Mediterrani Occidental*. <http://herbarivirtual.uib.es/>
- Wentworth, C.K. (1922).** A Scale of Grade and Class Terms for Clastic Sediments. *The Journal of Geology*, 30, 377–392.
- Willis, A. J., Folkes, B. F., Hope-Simpson, J. F. & Yemm, E. W. (1959).** Braunton Burrows: The Dune System and its Vegetation. *Journal of Ecology*, 47 (2), 249-88.