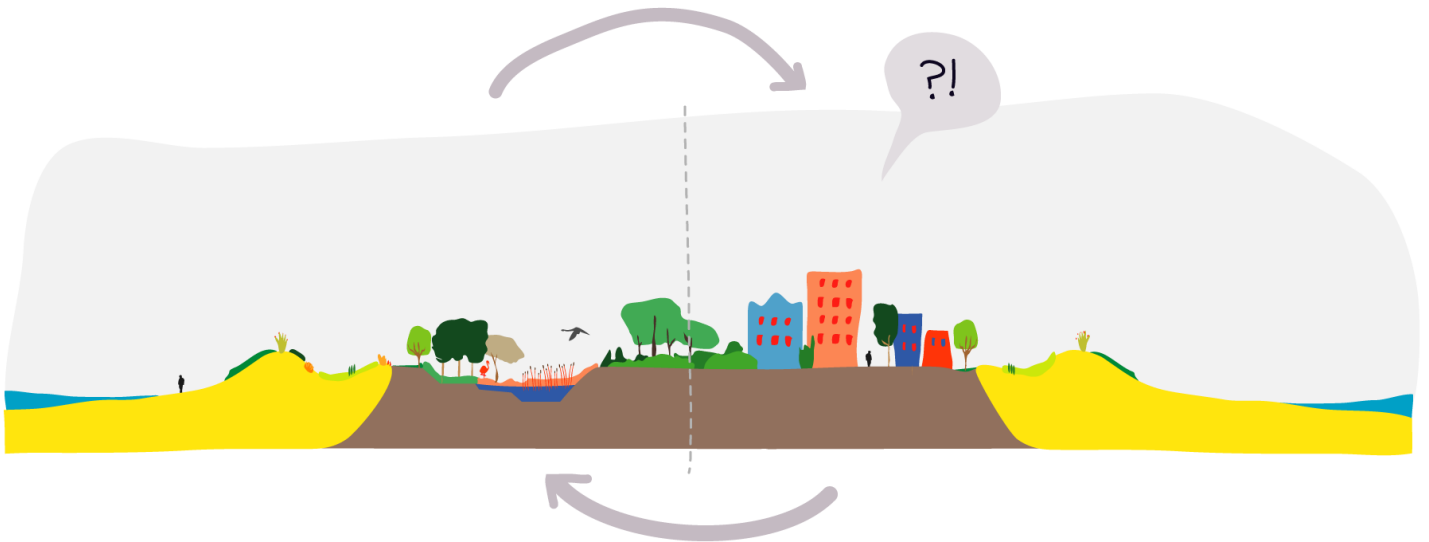


Els sistemes dunars de la costa catalana
Evolució històrica, estat actual i potencial de restauració



Carla Garcia Lozano

2019



Tesi doctoral

Els sistemes dunars de la costa catalana
Evolució històrica, estat actual i potencial de restauració

Carla Garcia Lozano
2019

Programa de Doctorat en Medi Ambient

Direcció a càrrec del Dr. Josep Pintó i Fusalba i del Dr. Francesc Xavier Roig i Munar

Memòria presentada per optar al títol de doctora per la Universitat de Girona

Figures, fotografies i cartografia realitzades per l'autora

Il·lustracions artístiques a càrrec de Laura Olivas Corominas

Certificat de direcció de tesis



El Dr. Josep Pintó i Fusalba de la Universitat de Girona i el Dr. Francesc Xavier Roig Munar responsable de la consultoria ambiental QU4TRE (es Migjorn Gran, Menorca),

DECLAREM:

Que el treball titulat *Els sistemes dunars de la costa catalana. Evolució històrica, estat actual i potencial de restauració*, que presenta Carla Garcia Lozano per a l'obtenció del títol de doctora, ha estat realitzat sota la nostra direcció i que compleix els requisits per poder optar a Menció Internacional.

I, perquè així consti i tingui els efectes oportuns, signem aquest document.

A handwritten signature in black ink, reading "Josep Pintó", enclosed within a large, light grey oval shape.

Josep Pintó i Fusalba

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping, stylized strokes, enclosed within a large, light grey oval shape.

Francesc Xavier Roig-Munar

Girona, dijous 12 de setembre de 2019

Presentació

Aquesta tesi doctoral s'ha organitzat seguint el model de confecció clàssica de tesis en format tradicional o monografia, en la qual es presenta un treball d'investigació global en una única aportació i amb una estructura unitària. L'esquema que segueix el manuscrit consta de dues parts: els elements preliminars i el cos del treball.

Els elements preliminars estan formats per un llistat de publicacions, una llista d'abreviatures, un índex de continguts, un índex de figures i un de taules, i un certificat on els directors de tesi acrediten que l'autora ha complert els requisits per poder optar al títol de Doctora amb Menció Internacional. Els elements previs al cos del treball s'inicien amb un epígraf dedicat als *Agraïments*, on l'autora reconeix les entitats, institucions, organitzacions i col·laboracions a títol personal que han contribuït a l'elaboració, redacció i presentació d'aquest document.

El cos del treball segueix l'estructura clàssica dels treballs d'investigació que s'ajusta als següents apartats: un resum inicial, una introducció general, un marc teòric, una descripció de l'àrea d'estudi, els mètodes d'investigació, els resultats obtinguts, la discussió i unes conclusions globals.

Abans d'entrar pròpiament en el cos del treball, s'ofereix un primer capítol d'*Introducció* que permet al lector d'entendre la motivació i la raó de ser d'aquesta tesi doctoral. Aquest bloc inicial conté una secció dedicada a la *Justificació de la tesi doctoral* on es concreten les pretensions, els orígens i el marc de treball de la investigació. Així mateix, el subapartat sobre l'*Estat de la qüestió: obres i mètodes en l'estudi de sistemes platja-duna* aborda l'interrogant sobre què s'ha fet fins ara sobre el tema de recerca i des d'on es parteix. És també a la introducció on es detallen les *Preguntes de recerca* i s'acoten els *Objectius* generals i específics del treball.

Una vegada exposades les qüestions introductòries, s'entra, ara sí, en el cos del treball. El *Marc teòric*, que encapçala aquesta part, recull els conceptes i la literatura bàsica per a apropar el lector al tema de recerca: els sistemes platja-duna, la seva formació, els tipus, l'ecologia, la degradació i la gestió. Una vegada contextualitzat el tema per mitjà de literatura científica d'àmbit local, regional i global, es descriu en detall l'*Àrea d'estudi*. En aquest darrer bloc és on es fa una síntesi del aspectes físics i humans de la costa catalana i s'assenyalen les particularitats dels principals sectors dunars, els deltes i planes deltaïques.

Els capítols que segueixen corresponen estrictament al desenvolupament de la investigació i als resultats obtinguts. Es tracta de la *Metodologia*, els *Resultats* i la *Discussió*. Aquests apartats s'exposen en tres subapartats relatius a cadascun dels objectius generals plantejats; així mateix, dins de cada apartat es plantegen altres seccions que responen a les qüestions més singulars meritòries de ser incorporades com a epígrafs pròpiament.

Finalment, el lector pot aprofundir en determinats aspectes de la recerca a partir de les taules dels *Annexos* que es troben degudament referenciades al llarg del manuscrit.

Agraïments

En primer lloc, gràcies a la meva família i companys de pis per aguantar-me en els moments més durs, donar-me suport i recordar-me que tot esforç té una gratificació. Gràcies mama i papa. Gràcies Tere. Gràcies Genís i gràcies tieta. Gràcies Ramiro. I sobretot, gràcies Rubén.

Gràcies al meu director de tesi, en Josep Pintó, que va acceptar de dirigir-me el treball ara fa quatre anys, i a guiar-me en un aspecte que, fins aleshores, era desconegut per a mi: la vegetació i el paisatge dunar. També vull donar el meu sincer agraïment al meu codirector de tesi, en Xisco Roig, que una vegada iniciada aquesta recerca va accedir a orientar-me amb les qüestions de geomorfologia i gestió, elements clau en aquest treball. Sense ells, aquest treball hauria estat, simplement, impossible. Gràcies també als companys de departament, de grup de recerca, i de projecte, sobretot al Rafa Sardà, a l'Eduard Ariza i a la Briana Bombana, amb qui compartir i col·laborar ha estat un plaer.

Agraeixo sincerament l'esforç dels revisors d'aquest document que han contribuït a millorar significativament la sintaxi, el lèxic i la gramàtica del present manuscrit, a més del mètode i del contingut. Tots ells es poden sentir una mica seu aquest treball.

Gràcies a totes les entitats que han donat resposta a les meves sol·licituds i a les persones que s'han esmerçat per facilitar-me informació o materials. La col·laboració a càrrec dels arxius municipals, diputacions, biblioteques i centres que m'han deixat consultar els seus fons històrics, ha estat crucial per realitzar la tasca d'investigació. El meu agraïment està especialment dirigit a l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya que posa a disposició de l'usuari una quantitat ingent de material en l'àmbit de la geografia, tant històric com actual. També vull agrair als tècnics dels ajuntaments dels setanta municipis litorals, i el personal dels parcs naturals i dels consorcis que m'han contestat les enquestes sobre la gestió, la planificació i els usos del sistema platja-duna. Així mateix, Puertos del Estado ha facilitat sèries temporals de clima d'onatge, direcció dominant i velocitat del vent per a més de vint punts SIMAR. Gràcies per la rapidesa i l'eficiència a transferir les dades.

A títol particular també hi ha persones que han col·laborat directament amb la col·lecta i el procés d'investigació d'aquest treball. Un especial agraïment a Andrés Valverde que va dedicar un valuós espai del seu temps a embadalir-me amb la història de les pinedes i les dunes del delta del Llobregat, de les quals n'és un bon coneixedor. També agraeixo a en Lluís Vilar la seva ajuda amb la identificació d'espècies; Lluís, moltes gràcies per ensenyar-me a distingir entre la *Maresia nana* i la *Malcolmia ramosissima*. Finalment, dono les gràcies en Pepus Daunis que m'ha ensenyat algunes qüestions bàsiques del programa R, a saber identificar l'estadística més adequada en cada cas, i a interpretar-ne els resultats.

A nivell tècnic he d'agrair la disponibilitat i l'amabilitat dels informàtics de la UdG, en Pau, en David i en Carles. Nois, gràcies per recuperar-me els arxius esborrats i per arreglar-me l'ordinador amb tanta rapidesa quan ho he necessitat. Carles, sempre t'estaré agraïda per ressuscitar el meu ordinador portàtil quan tothom el donava per mort...

En aspectes artístics he de donar les gràcies a la Laura Olivas que m'ha dibuixat els perfils de platja-duna de la portada i de l'inici de cada capítol. Laura, ets un sol.

Aquesta tesi m'ha demanat moltes hores de treball de camp, durant les quals he après a identificar espècies vegetals i distingir processos i morfologies dunars. Gràcies Josep Pintó per acompanyar-me durant les primeres sortides i ensenyar-me a distingir tantes i tantes plantes; sense la teva ajuda avui no sabia diferenciar entre el jull i el borro. Gràcies Xisco per deixar-me venir mentre tu treballaves i perdre el temps explicant-me on i com s'han de col·locar les trampes de sorra i perquè és important la gestió. Gràcies a tots els que m'heu portat conduint fins les platges perquè pogués mirar *les meves plantetes i les meves dunes*,

sobretot a tu papa que has matinat durant setmanes per portar-me arreu del litoral català. Agraïxo també l'ajuda puntual de la Sara i en Rubén en el treball de camp, sense tu Sara no hauria trobat tantes fotografies amb dunes. Per últim, agraïxo a l'Alicia Gómez que m'acompanyés al congrés d'Holanda, gràcies Alicia pels consells i per transmetre'm seguretat.

En un pla més lúdic, dono les gràcies a la Laura Olivas i la Roser Pastor amb qui he compartit tantes bones estones durant l'hora de dinar. També a tots els *becaris d'en David*: a la Maria, en Javi, la Enrica, en Pueyo, l'Ari, la Marta i en Xevi, però molt especialment a en David per a fer-nos fruir amb excelsos entelèquies. David *danke schön!* També agraïxo la companyia i l'amistat de la gent de Galway, especialment en Guillermo, l'Artur, en Francesc i en David, però per damunt de tot, en Solet. Tots vosaltres, juntament amb els meus companys de casa, Jordi i Àlex, va fer de la meua estada a Irlanda una experiència molt bonica.

Gràcies a aquells que m'han acompanyat i ajudat durant la fase prèvia del doctorat. Gràcies Josep, sense tu no hauria arribat fins aquí. També a les persones que durant el transcurs d'aquests quatre anys m'han acompanyat, animat i s'han interessat per la meua tesi. Sense la vostra motivació aquest camí hagués estat molt dur. Gràcies a la Sílvia que va venir a la meua vida per quedar-s'hi. Gràcies a l'Aaron pel suport, l'ajuda i les futures col·laboracions. Gràcies en Joan Picart per interessar-se sobre la meua recerca i donar ànims de tant en tant. Gràcies a la Cristina i a la seva família, també per preguntar i animar; especialment a en Casi que ja no hi és, però sempre en tinc el record de preguntar-me *com està la doctoranda?*. Gràcies a la Núria Mussons perquè sense gent com ella el món no s'aguantaria per enlloc. Gràcies a la Noemí que lluita i defensa amb unghes i dents els ambientals de les platges catalanes. I molt especialment gràcies a tu, Vero, que m'has ensenyat tantes i tantes coses, tant i tant importants, i, sobretot, a gaudir de l'aprenentatge.

Finalment, dono gràcies als companys del SIGTE pel suport que m'han donat durant els agònics dies finals d'aquest procés. Gràcies Gemma per la comprensió, i per fer fàcil allò que sembla difícil.

Llista de publicacions

- Garcia-Lozano, C.; Pintó, J.; Roig-Munar, F.X. (2019). Desarrollo dunar y potencial de restauración dunar en sistemas playa-duna del litoral catalán. En: Durán, R.; Guillén, J.; Simarro, E. (Ed.). X Jornadas de Geomorfología litoral. Castelldefels, 4 a 6 de septiembre de 2019. Libro de Ponencias. p. 133 – 136.
- Roig-Munar, F.X.; Altura, R.; Ramos, S.; Garcia-Lozano, C.; Pintó, J.; Martín-Prieto, J.A.; Rodríguez-Perea, A.; Gelabert, B.; Vicent, J. (2019). Análisis evolutivo de la morfología dunar de la Pletera (Girona, Catalunya) mediante sensores LiDAR y fotográficos (2010-2018). En: Durán, R.; Guillén, J.; Simarro, E. (Ed.). X Jornadas de Geomorfología litoral. Castelldefels, 4 a 6 de septiembre de 2019. Libro de Ponencias. p. 73 – 76.
- Pintó, J.; Garcia-Lozano, C.; Roig-Munar, F.X. (2019). Itinerario geomofológico y paisajístico por la Costa Brava: bahía de Pals y playa de Castell (Palamós). En: Durán, R.; Guillén, J.; Simarro, E. (Ed.). X Jornadas de Geomorfología litoral. Castelldefels, 4 a 6 de septiembre de 2019. Libro de Ponencias. p. 271 – 292.
- Roig-Munar, F.X.; Pintó, J.; Garcia-Lozano, C.; Martín-Prieto, J.A.; Rodríguez-Perea, A. (2019). Análisis de los patrones de uso y frecuentación (2000-2017) en las playas de la isla de Menorca (Islas Baleares). *Cuadernos Geográficos*. Acceptat
- Pintó, J.; Garcia-Lozano, C.; Roig-Munar, F.X. (2019). L'espai litoral. A Folch, R.; Peñuelas, J.; Serrat, D. (coord.), *Natura, ús o abús?. Llibre blanc de la gestió de la natura als Països Catalans*. Institut d'Estudis Catalans.
- Garcia-Lozano, C.; Pintó, J. (2018). Current status and future restoration of coastal dune systems on the Catalan shore (Spain, NW Mediterranean Sea). *Journal of Coastal Conservation*. 22:519–532 DOI: 10.1007/s11852-017-0518-4
- Garcia-Lozano, C.; Pintó, J.; Daunis-i-Estadella, J. (2018). Changes in coastal dune systems on the Catalan shoreline (Spain, NW Mediterranean Sea). Comparing dune landscapes between 1890 and 1960 with their current status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 208: 235-247 DOI: 10.1016/j.ecss.2018.05.004
- Roig-Munar, F.X.; Martín-Prieto, J.A.; Pintó, J.; Ramos, S.; Vicens, J.; Rodríguez-Perea, A.; García-Lozano, C. y Gelabert, B. (2018). Análisis de la evolución de los sistemas dunares del Alt y Baix Empordà (Costa Brava, Catalunya) mediante el uso de variables geomorfológicas y de gestión. A Garcia, C.; Gómez-Pujol, L.; Moran-Tejeda, E.; Batalla, R. (eds.), *Geomorfología del Antropoceno: Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos*. ISSN: 978-84-09-04850-2
- Garcia-Lozano, C.; Pintó, J.; Daunis-i-Estadella, J. (2017). Retroceso de las dunas costeras en el litoral catalán a lo largo del último siglo. *Geo-Temas*. Vol. 17. ISSN: 1576-5172
- Roig-Munar, F.X.; Martín-Prieto, J.A.; Pintó, J.; Ramos, S.; Vicens, J.; Rodríguez-Perea, A.; García-Lozano, C. y Gelabert, B. (2017). Análisis de la evolución del sistema dunar de la Platera (Costa Brava, Catalunya) mediante el uso de variables geomorfológicas y de gestión. *Geo-Temas*. Vol. 17. ISSN: 1576-5172
- Pintó, J.; Garcia-Lozano, C. (2016). Transformació històrica recent i situació actual del paisatge dunar a Catalunya. *Recerca i territori*. Vol. 7. ISSN: 2013-2939

Llista d'abreviatures

ACA	Agència Catalana de l'Aigua
BeaPot	Index of Beach Potential to Host Dunes
CoMan	Index of Conservation and Management Actions
CORINE	Coordination of Information on the Environment
DPMT	Domini Públic Marítim-Terrestre
DRP	Index of Dune Restoration Potential
DVR	Index of Dune Vulnerability After Restoration Actions
EIN	Espai d'Interès Natural
ICGC	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya
ICZM	Integrated Coastal Zone Management
IGN	Institut Geològico Nacional
INSPAI	Centre de la Imatge de la Diputació de Girona
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IUCN	International Union for Conservation of Nature
LAGP	Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge
LiDAR	Laser Imaging Detection and Ranging
MCA	Multiple Correspondence Analysis
MDT	Model Digital del Terreny
MTN	Mapa Topogràfic Nacional
PDUSC	Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner
PEIN	Pla d'Espais d'Interès Natural
PNIN	Paratges Naturals d'Interès Nacional
PIB	Producte Interior Brut
PN	Parc Natural
POUM	Pla d'Ordenació Urbanística Municipal
SACE	Servicios Aéreos Comerciales Españoles
SIG	Sistemes d'Informació Geogràfica
SIGTE	Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció
StaDun	Index of Status of Dune
SurLan	Index of Surrounding Landscape
WMS	Web Map Server
ZMT	Zona Marítim-Terrestre
com. pers.	Comunicació Personal

Índex de continguts

Resum	- 19 -
Resumen	- 21 -
Abstract.....	- 23 -
1.Introducció.....	- 25 -
1.1. Justificació de la tesi doctoral.....	- 26 -
1.2. Estat de la qüestió: obres i mètodes en l'estudi de sistemes platja-duna.....	- 26 -
1.2.1. El paisatge dunar a Catalunya.....	- 26 -
2.3.2. Documents històrics per a analitzar els canvis en el paisatge dunar	- 28 -
2.3.3. Indicadors ambientals per analitzar l'estat actual de sistemes platja-duna ...	- 29 -
1.3. Preguntes de recerca.....	- 30 -
1.4. Objectius.....	- 30 -
2. Marc teòric	- 31 -
2.1. Sistemes platja-duna en costes naturals	- 34 -
2.1.1 Formació dunar	- 35 -
2.1.2. Tipus de dunes.....	- 39 -
2.1.3. Vegetació dunar	- 46 -
2.2. Sistemes platja-duna en costes humanitzades	- 51 -
2.2.1. Degradació, perturbacions i amenaces de l'hàbitat dunar	- 54 -
2.2.2. Gestió del sistema platja-duna.....	- 67 -
3. Àrea d'estudi: la costa catalana	- 75 -
3.1. Característiques físiques i ambientals de la costa catalana	- 76 -
3.2. La costa catalana, un paisatge humanitzat.....	- 79 -
3.3. Principals sectors dunars: deltes i planes deltaïques.....	- 86 -
3.3.1. Delta de l'Ebre.....	- 86 -
3.1.2. Delta del Llobregat	- 88 -
3.3.3. Delta de la Tordera.....	- 90 -
3.3.4. Planes deltaïques de l'Empordà.....	- 91 -
4. Metodologia	- 94 -
4.1. Classificació i identificació de sistemes platja-duna.....	- 95 -
4.2. Evolució històrica dels sistemes platja-duna i el seu entorn.....	- 97 -
4.2.1. Sistemes dunars i usos del sòl de l'entorn de la platja en el passat	- 97 -
4.2.2. Presència actual de dunes i usos del sòl de l'entorn de les platges	- 102 -
4.2.3. Anàlisi de les dades.....	- 102 -
4.2.4. Tractament de dades LiDAR en dunes aforestades.....	- 108 -
4.3. Desenvolupament d'indicadors.....	- 108 -

4.3.1. Índexs basats en llistes de control	- 109 -
4.3.2. Índex compost: DRP (potencial de restauració dunar).....	- 112 -
4.3.3. Casos d'estudi	- 113 -
5. Resultats	- 118 -
5.1. Les dunes en l'actualitat: identificació i morfologia	- 119 -
5.1.1. Tipus de dunes	- 120 -
5.1.2. Distribució de les dunes de Catalunya	- 127 -
5.2. Evolució històrica	- 129 -
5.2.1. Tipus de transformació.....	- 132 -
5.2.2. Factors de transformació del paisatge dunar	- 134 -
5.2.3. Canvi d'usos del sòl a l'entorn de la platja	- 136 -
5.3. Indicadors per descriure el sistema platja-duna i quantificar-ne el potencial de restauració dunar	- 142 -
5.3.1. StaDun VS BeaPot, CoMan i SurLan.....	- 142 -
5.3.2. Potencial de restauració dunar (DRP).....	- 146 -
6. Discussió	- 147 -
6.1. Les dunes a Catalunya, passat i present	- 148 -
6.1.1. L'Empordà.....	- 157 -
6.1.2. El delta del Llobregat.....	- 165 -
6.1.3. El cap de Salou	- 171 -
6.1.4. El delta de l'Ebre	- 173 -
6.1.5. Fonts documentals.....	- 175 -
6.1.6. Transformació del paisatge dunar, quantificació i qualificació.....	- 176 -
6.2. Estat geomorfològic i ecològic de les dunes.....	- 185 -
6.3. Restauració dunar	- 190 -
6.3.1. Conservació dunar: grup 1 i grup 2.....	- 192 -
6.3.2. Restauració dunar: grup 4 i grup 6	- 195 -
6.3.3. Recuperació dunar: grup 3.....	- 196 -
6.3.4. Renaturalització de la platja alta: grup 5.....	- 197 -
6.3.5. Potencialitats i limitacions dels indicadors dissenyats	- 198 -
7. Conclusions	- 203 -
Conclusions (English version)	- 208 -
Annexos.....	- 213 -
Referències bibliogràfiques.....	- 244 -

Índex de Figures

Figura 1. Platja natural de la Fonollera (Torroella de Montgrí, Girona).....	- 33 -
Figura 2. Emplaçament dels principals sistemes dunars costaners i lacustres d'arreu del món	- 34 -
Figura 3. Inici de formació dunar a partir de la fixació de materials sorrenca per acció de vegetació o altres elements que generen irregularitats en el terreny.....	- 35 -
Figura 4. Dinàmica de la zona litoral activa on s'intercanvia sediment entre la platja i la duna durant els períodes de bonança i temporals..	- 36 -
Figura 5. Gradients dels factors d'estrès al llarg del perfil-platja duna	- 37 -
Figura 6. Tipus de dunes: dunes primàries i secundàries, <i>blowouts</i> , dunes parabòliques i dunes transgressives.....	- 40 -
Figura 7. Morfologia <i>blowout</i> a la punta de la Banya, al delta de l'Ebre.....	- 40 -
Figura 8. Parts d'una <i>foredune</i> segons Hesp (1989).	- 41 -
Figura 9. Estadis de degradació de les <i>foredunes</i>	- 42 -
Figura 10. Diferents parts de les dunes primàries i secundàries	- 43 -
Figura 11. Platja del Garxal, just davant de la urbanització de Riumar, al delta de l'Ebre (Deltebre, Tarragona). Les depressions interdunars o <i>slacks</i> es situen entre dunes semi-estabilitzades.....	- 44 -
Figura 12. Duna parabòlica de la punta de la Banya.....	- 44 -
Figura 13. Tipus de dunes seguint criterismorfodinàmica.....	- 45 -
Figura 14. Tipus de dunes seguint criterismorfològica.....	- 45 -
Figura 15. Tipus de dunes seguint criteris topogràfics	- 46 -
Figura 16. Zones de vegetació.....	- 49 -
Figura 17. Zonificació dels perfils dunars a Catalunya	- 51 -
Figura 18. Les dunes relictas del sector nord de la platja de Creixell.....	- 52 -
Figura 19. Fases d'evolució del sistema platja-duna en costes desenvolupades	- 53 -
Figura 20. Escarpament de la <i>foredune</i> a la platja Llarga de Tarragona	- 55 -
Figura 21. Corba de sensibilitat ambiental associada a l'erosió en diferents sistemes platja-duna	- 56 -
Figura 22. Cordó dunar efímer confinat entre la platja i la urbanització a la platja de Berà (Tarragona).....	- 59 -
Figura 23. Neteja mecànica arran de la <i>foredune</i> a la platja de la Rovina	- 60 -
Figura 24. Presència de <i>Carpobrotus edulis</i> al sistema dunar davant de la platja del Cortal de la Devesa	- 62 -
Figura 25. Alteració del transport longitudinal de sediments pel port d'Arenys de Mar. -	63 -
Figura 26. Dunes fixades amb pins a les landes de la Gascona	- 64 -
Figura 27. Dunes interiors del massís del Montgrí.....	- 65 -
Figura 28. Mesures de gestió emprades per la regeneració i conservació dunar.	- 72 -

Figura 29. Límits administratius dels municipis litorals.....	- 76 -
Figura 30. Caracterització física general del litoral català	- 77 -
Figura 31. Sistema platja-duna on s'observa el càmping <i>la Gavina</i> de Creixell	- 80 -
Figura 32. Càmping <i>Las Palmeras</i> de la platja Llarga de Tarragona.....	- 81 -
Figura 33. Densitat d'habitants i segones residències als municipis de la costa catalana-	82 -
Figura 34. Transformació del paisatge dunar.....	- 83 -
Figura 35. Espigons paral·lels a la costa.	- 84 -
Figura 36. Espais naturals protegits del litoral català	- 86 -
Figura 37. Evolució de la costa del delta de l'Ebre.....	- 87 -
Figura 38. Evolució de la línia de costa del delta del Llobregat	- 89 -
Figura 39. Sector sud del delta de la Tordera després de temporals.....	- 91 -
Figura 40. Evolució de la línia de la costa i dels cursos fluvials de les planes deltaïques de l'Empordà.....	- 92 -
Figura 41. Canvis en el paisatge dunar	- 100 -
Figura 42. Comparativa fotografies aèries.....	- 101 -
Figura 43. Exemples de canvis paisatgístics.	- 104 -
Figura 44. Canvi paisatgístic al sector sud del cap de Salou.....	- 105 -
Figura 45. Platja del Torn (.....	- 106 -
Figura 46. Mesures de gestió a diferents sistemes platja-duna.....	- 112 -
Figura 47. Casos d'estudi per a l'aplicació dels índexs	- 114 -
Figura 48. Exemples de platges per a l'aplicació dels índexs dissenyats.....	- 115 -
Figura 49. Platja de Riells	- 116 -
Figura 50. Nombre de platges amb dunes per àmbit provincial i distribució dels sistemes dunars a Catalunya.....	- 119 -
Figura 51. Tipus de dunes	- 120 -
Figura 52. A - <i>Barkhana</i> a la platja de la Marquesa	- 121 -
Figura 53. Cordó dunar confinat entre la platja del Cortal de la Devesa i el càmping de <i>la Ballena Alegre</i> (Sant Pere Pescador, Girona).....	- 122 -
Figura 54. Cordó dunar amb rereduna a la platja de la Fonollera.....	- 123 -
Figura 55. Camp dunar de la punta del Fangar	- 124 -
Figura 56. Platja del Cristall.....	- 124 -
Figura 57. Duna grimpadora; Duna al cim d'un penya-segat; i Duna situada a l'interior d'estructures urbanes	- 125 -
Figura 58. Dunes fixades a la platja de l'Estartit.....	- 126 -
Figura 59. Aspecte del visor de Platges i Dunes de Catalunya.	- 126 -
Figura 60. Nombre de platges segons el rang de superfície dunar	- 129 -
Figura 61. Platges amb dunes en el període 1890 - 1960 i el 2019	- 130 -
Figura 62. Platja del Calafat.....	- 130 -

Figura 63. Platja dels Capellans.....	- 131 -
Figura 64. Dunes incipients a la platja de les Dunes (Santa Susanna, Barcelona).	- 132 -
Figura 65. Tipus de transformació de les 202 platges amb dunes entre 1890 i 1960 en relació amb el seu estat actual.....	- 133 -
Figura 66. Tipus de transformació dunar per àmbit provincial.	- 134 -
Figura 67. Gràfic bidimensional de l'MCA.....	- 135 -
Figura 68. Gràfic bidimensional de l'MCA per àmbit provincial	- 136 -
Figura 69. Canvis paisatgístics a la platja Llarga de Tarragona.....	- 138 -
Figura 70. Canvis paisatgístics a la platja de la Llosa.....	- 139 -
Figura 71. Relació entre StaDun i BeaPot, CoMan i SurLan	- 145 -
Figura 72. Anàlisi de clústers segons els resultats obtinguts d'StaDun i DRP.....	- 146 -
Figura 73. Exemples dels diferents estadis estructurals de les morfologies dunars	- 149 -
Figura 74. Diferència entre les dunes grimpadores i les dunes en rampa	- 150 -
Figura 75. Delimitació i tipus de dunes de la cala Borró	- 150 -
Figura 76. Dunes de Covarques al municipi de Port de la Selva.....	- 151 -
Figura 77. Dunes grimpadores a la platja del Torn	- 152 -
Figura 78. Platja de Sant Pere Pescador a principis de segle XX.....	- 153 -
Figura 79. Morfologies dunars al delta de l'Ebre.....	- 154 -
Figura 80. Morfologies dunars a la punta de la Banya.	- 155 -
Figura 81. Planes d'inundació intermitents a la punta de la Banya.....	- 156 -
Figura 82. <i>Foredune</i> a la platja de la Bassa de l'Arena, al delta de l'Ebre.....	- 156 -
Figura 83. Camps dunars al vesant sud del Montgrí	- 157 -
Figura 84. Sistemes dunars a l'Empordà	- 158 -
Figura 85. Treballs de fixació dunar a Empúries, l'Escala, al voltant del 1896	- 159 -
Figura 86. Camp de dunes mòbils a finals del segle XIX.....	- 160 -
Figura 87. Dunes parcialment estabilitzades	- 162 -
Figura 88. Dunes parabòliques lliures.....	- 163 -
Figura 89. Vista des del coll de les Sorres cap al sud.	- 163 -
Figura 90. Mapa d'ombres elaborat a partir de l'MDT.	- 165 -
Figura 91. Reproducció del mapa de les marines de la baronia d'Eramprunyà el 1590 ...	- 166 -
Figura 92. Part del <i>Mapa geològic y topogràfic de la província de Barcelona</i>	- 167 -
Figura 93. Mapa geològic del delta del Llobregat.....	- 168 -
Figura 94. Part de la cartografia realitzada per Baños de Castelldefels S.A.	- 169 -
Figura 95. Fotografia aèria del delta del Llobregat el 1961.....	- 170 -
Figura 96. Dunes actuals al delta del Llobregat	- 171 -
Figura 97. Dunes del cap de Salou.....	- 172 -
Figura 98. Esquema geològic del cap de Salou.....	- 173 -

Figura 99. Full 523 del MTN	- 174 -
Figura 100. Full 43 del Mapa Topogràfic de Catalunya	- 174 -
Figura 101. Dunes a Castelldefels.....	- 174 -
Figura 102. Dunes incipients a la platja de la Pomereda	- 175 -
Figura 103. Platja de Vilanova i la Geltrú	- 176 -
Figura 104. Plànol de la ciutat de Barcelona de 1727	- 177 -
Figura 105. Agrupació de les variables a partir de l'MCA.....	- 179 -
Figura 106. Desembocadura delta del Llobregat el 1956 i actualment	- 182 -
Figura 107. Evolució dels sistemes platja-duna a la costa catalana.....	- 183 -
Figura 108. Platja del Cavalló.....	- 184 -
Figura 109. Sistema platja-duna de Calafat	- 185 -
Figura 110. Relació entre StaDun i BeaPot, CoMan i SurLan.	- 186 -
Figura 111. Platja de Llevant.	- 187 -
Figura 112. A- Platja de Can Martinet.....	- 188 -
Figura 113. Cala Forn.....	- 189 -
Figura 114. Correlació entre el DRP i el DVR.	- 191 -
Figura 115. El sector entre can Nera i can Sopa.	- 193 -
Figura 116. La platja de la Pletera	- 193 -
Figura 117. La platja dels Muntanyans.....	- 194 -
Figura 118. Exemples de platges que formen el grup de “restauració dunar”	- 196 -
Figura 119. La platja de la Móra.....	- 197 -
Figura 120. Platja de la Pomereda.	- 198 -
Figura 121. La Pletera el 2002 i el 2018.	- 200 -

Índex de Taules

Taula 1. Descripció dels estadis de degradació establerts per Hesp (2002).....	- 42 -
Taula 2. Presència dels hàbitats dunars marítims europeus a l'estat espanyol segons Bartolomé et al. (2005) i Gracia (2009).....	- 50 -
Taula 3. Projeccions d'augment del nivell del mar per el 2100	- 66 -
Taula 4. Hàbitats dunars de Catalunya.	- 78 -
Taula 5. Espècies exclusives d'hàbitats de platja i duna del litoral català.	- 79 -
Taula 6. Fonts d'informació per a la reconstrucció històrica del paisatge dunar	- 98 -
Taula 7. Documents fotogràfics per a la reconstrucció històrica del paisatge dunar	- 99 -
Taula 8. Equivalències entre les categories de protecció segons la IUCN i segons l'estat espanyol.....	- 107 -
Taula 9. Significat dels acrònims utilitzats en els indicadors desenvolupats	- 109 -
Taula 10. Llista de control per analitzar StaDun, BeaPot, CoMan i SurLan	- 110 -
Taula 11. Superfície ocupada pels diferents tipus de dunes al litoral català.....	- 127 -
Taula 12. Llistat de les vint dunes més extenses de Catalunya.....	- 128 -
Taula 13. Número de platges per l'àmbit provincial segons els usos del sòl de l'entorn immediat en el passat (1956-57) i actuals (2019).....	- 137 -
Taula 14. Usos del sòl de l'entorn de la platja el 1956-57 i actualment segons tipus de transformació.....	- 140 -
Taula 15. Valors dels 50 casos d'estudi per als índexs StaDun, BeaPot, CoMan, SurLan, DRP.	- 143 -
Taula 16. Nombre de platges segons els resultats d'StaDun, BeaPot, CoMan i SurLan per àmbit provincial.....	- 144 -
Taula 17. Nombre de platges segons els resultats de l'índex DRP per àmbit provincial .	- 146 -
Taula 18. Objectius de gestió segons els valors obtinguts als índex DRP i StaDun.	- 191 -

Resum

Els sistemes dunars costaners ocupen el sector interior de les platges i són una part fonamental dels sistemes platja-duna. Són l'hàbitat exclusiu de nombroses espècies animals i vegetals, i actuen com a barrera de protecció natural de béns i serveis situats a la ribera de mar, com cultius o zones residencials, però també paisatges litorals que tenen valors estètics singulars derivats de les dinàmiques naturals i culturals pròpies dels espais costaners. La Directiva Hàbitats de la Unió Europea fixa els ambients dunars com a hàbitats d'interès comunitari, entre els qual se'n considera alguns d'interès prioritari, com les dunes amb cadequers, savinoses o pinedes. A Catalunya s'han localitzat 11 hàbitats restringits a platges i dunes que, en els seu conjunt, alberguen 37 espècies de plantes vasculares amb hàbitat exclusiu en aquests ambients. A banda de les funcions naturals i de protecció, les platges n'exerceixen d'altres de tipus cultural i recreatiu vinculades, sobretot, al gaudi del repòs i dels banys de mar.

Les formacions dunars són espais dinàmics d'alt valor ecològic, biològic, geològic i paisatgístic, sotmesos constantment a pertorbacions de caire natural i antròpic. Al llarg de les darreres dècades, la intensificació accelerada d'activitats econòmiques i usos al litoral ha comportat una ocupació accelerada del sòl que s'ha concentrat especialment en els trams de costa baixa. En nombroses ocasions, el procés urbanitzador ha suposat la desaparició completa o parcial dels sistemes dunars. L'artificialització i *rigidització* de la costa, a més, posen en risc el dinamisme dels sistemes platja-duna i en dificulten la seva recuperació després dels episodis de temporals. Els temporals de mar erosionen el front dunar que es recupera de forma natural en èpoques de calma marina. La desaparició o disminució del paisatge dunar dificulta l'intercanvi natural de sediments entre la platja i la duna i compromet l'equilibri de la zona litoral activa. El balanç sedimentari del sistema platja-duna també es veu alterat per la reducció de la disponibilitat de sediment a les platges, sobretot vinculada a la disminució de sediments aportats pels rius i a modificació del transport longitudinal.

En aquest context d'accelerada transformació dels sistemes platja-duna, la present tesi descriu i analitza el canvi històric ocorregut sobre les morfologies dunars de la costa catalana. Aquesta recerca quantifica la magnitud del canvi i se n'atribueixen les possibles causes. També s'estudien amb profunditat les formacions dunars que actualment són presents al litoral català i se'n presenta una classificació basada en criteris morfològics i ecològics. Finalment, es desenvolupen un conjunt d'indicadors elaborats a partir de llistes de control, que permeten avaluar en profunditat i de forma integrada els diferents components que condicionen i interactuen en els sistemes platja-duna. La combinació dels diferents indicadors ha permès dissenyar un índex per determinar el potencial de restauració dunar de cada platja. D'acord amb aquest potencial, els sistemes platja-duna es classifiquen segons les mesures de gestió més apropiades en cada cas. Es presenta, doncs, una eina pràctica i funcional a l'hora de prendre decisions relacionades amb la conservació, restauració o recuperació de sistemes dunars.

Els resultats de la tesi constaten que les costes humanitzades de Catalunya presenten un paisatge dunar fortament degradat. Al llarg de les darreres dècades, les dunes han desaparegut al 60% de sistemes platja-duna; mentre que el 30% n'han vist reduïda la superfície dunar; i, tan sols, el 10% de les platges conserven els sistemes dunars ben conservats. La Costa Brava és el tram de litoral més afectat per la degradació de l'hàbitat dunar, seguida de prop per la província de Barcelona i la Costa Daurada. L'anàlisi de canvi d'usos del sòl apunta que la disminució de l'hàbitat dunar es deu a la urbanització de la costa i a la prioritització dels usos recreatius vers les funcions naturals i de protecció de les platges.

Fruit dels canvis històrics, de les 823 platges que actualment s'ha localitzat a la costa catalana, tan sols 127 presenten algun tipus de morfologia dunar. Les tipologies dunars identificades en aquesta recerca van des de dunes incipients a camps dunars, passant per dunes en rampa, dunes grimpadores, cordons dunars, cordons dunars amb rereduna i dunes fixades amb pins. Les dunes més extenses i voluminoses se situen al delta de l'Ebre, a la Costa Daurada, a la badia de Pals, al delta del Llobregat i al golf de Roses. La resta de sistemes dunars són de petites dimensions i estan associats a estructures urbanes que en dificulten el seu ple desenvolupament. Al marge del seu volum i extensió, les dunes de la costa catalana presenten, de forma generalitzada, un estadi de degradació molt avançat vinculat a l'escassa gestió enfocada a la conservació i recuperació de les formacions dunars.

Davant d'aquesta realitat de degradació dunar, l'aplicació dels indicadors elaborats en aquesta tesi permeten classificar les platges de Catalunya en quatre grups segons les mesures de gestió que cal implementar: conservació dunar, restauració dunar, recuperació dunar, renaturalització de la platja. Els resultats obtinguts evidencien que la major part dels casos estudiats presenten un notable potencial de restauració dunar. Es tracta, sobretot, de platges urbanes o urbanitzades destinades als usos i funcions turístiques i recreatives. Un segon grup de platges, menys nombrós que l'anterior, ha resultat ser idoni per a la conservació de dunar. Aquesta categoria comprèn platges naturals poc alterades per la urbanització i la freqüentació antròpica. En tercer lloc, es suggereix la recuperació dunar en aquelles platges on les dunes han desaparegut en les darreres dècades i presenten unes característiques ambientals idònies per a la seva formació. Finalment, es recomana la renaturalització de la platja allà on les característiques geoambientals no permeten un gran desenvolupament dunar, malgrat s'hi esmercin esforços de gestió en aquesta línia. Aquest darrer grup és molt poc nombrós i comprèn amplis sorrals de sediments mitjans i gruixuts que compten amb vents de caràcter feble.

Resumen

Los sistemas dunares costeros ocupan el sector interior de las playas y son una parte fundamental de los sistemas playa-duna. Constituyen el hábitat exclusivo de numerosas especies animales y vegetales, y actúan como una barrera de protección natural de bienes materiales situados en la ribera de mar. Según la Directiva Hábitats de la Unión Europea, las dunas son hábitats de interés comunitario e incluso algunos de sus ambientes están considerados de interés prioritario. En Cataluña se han localizado 11 hábitats exclusivos restringidos la playa alta y las dunas, que albergan 37 especies de plantas vasculares cuyo hábitat exclusivo son playas y dunas. Al margen de las funciones naturales y de protección, las playas ejercen otras funciones de tipo cultural y recreativo vinculadas, sobretudo, al goce del reposo y del baño en el mar.

Las formaciones dunares son espacios dinámicos de alto valor ecológico, biológico, geológico y paisajístico, sometidos constantemente a perturbaciones de carácter natural y antrópico. A lo largo de las últimas décadas, la intensificación acelerada de actividades económicas en el litoral ha desencadenado una ocupación acelerada del suelo concentrada, especialmente, en los tramos de costa baja. En numerosas ocasiones, el proceso de urbanización ha supuesto la desaparición completa o parcial de los sistemas dunares. La *artificialización* y *rigidización* de la costa, además, ponen en riesgo el dinamismo de los sistemas playa-duna y su recuperación después de episodios de temporales. Los temporales marítimos erosionan el frente dunar que se recupera de forma natural en épocas de calma marina. La desaparición del paisaje dunar dificulta el intercambio natural de sedimentos entre la playa y la duna y compromete el equilibrio de la zona litoral activa. El balance sedimentario del sistema playa-duna también se ve alterado por la reducción de la disponibilidad de sedimentos en las playas, vinculada mayormente a la disminución de sedimentos aportados por los ríos y a la modificación del transporte longitudinal.

En este contexto de acelerada transformación de los sistemas playa-duna, se ha descrito y analizado el cambio histórico ocurrido sobre las morfologías dunares de la costa catalana. En la presente investigación se cuantifica la magnitud del cambio y se identifican sus posibles causas. Asimismo, se estudia en profundidad las formaciones dunares presentes actualmente en el litoral catalán y se ofrece una clasificación de las mismas basada en criterios morfológicos y ecológicos. Finalmente, se desarrollan un conjunto de indicadores elaborados a partir de listas de control que permiten evaluar en profundidad y de forma integrada los diferentes componentes que condicionan e interactúan en los sistemas playa-duna. La combinación de los diferentes indicadores ha permitido diseñar un índice para determinar el potencial de restauración dunar en cada playa. De acuerdo con este potencial, los sistemas playa-duna se clasifican según las medidas de gestión más apropiadas en cada caso. Con esto, se presenta, una herramienta práctica y funcional para la toma de decisiones sobre la conservación, restauración o recuperación de los sistemas dunares.

Los resultados de la tesis constatan que las costas antropizadas de Cataluña presentan un paisaje dunar fuertemente degradado. A lo largo de las últimas décadas, las dunas han desaparecido en el 60% de los sistemas playa-duna; mientras que el 30% ha visto reducida la superficie dunar; y solamente el 10% de las playas conservan bien conservados sus sistemas dunares. La Costa Brava es el tramo de litoral más afectados por la degradación del hábitat dunar, seguida de cerca por la provincia de Barcelona y la Costa Daurada. El análisis de cambio de usos del suelo apunta que la disminución del hábitat dunar se debe a la urbanización de la costa y a la priorización de los usos recreativos frente a las funciones naturales y de protección de las playas.

Como resultado de los cambios históricos, de las 823 playas que actualmente se han localizado a la costa catalana, solo 127 de ellas presentan algún tipo de morfología dunar.

Las tipologías dunares identificadas en la presente investigación han sido muy variadas, desde dunas incipientes a campos dunares, pasando por dunas en rampa, dunas escaladoras, cordones dunares, cordones dunares con dunas semiestabilizadas y dunas fijas. Las dunas más extensas se localizan en el Delta del Ebro, Costa Daurada, Bahía de Pals, Delta del Llobregat y en el Golfo de Rosas. El resto de sistemas dunares son de pequeñas dimensiones y están asociados a estructuras urbanas que dificultan su pleno desarrollo. Al margen de su volumen y extensión, las dunas de la costa catalana presentan, de forma generalizada, un nivel de degradación muy avanzado vinculado principalmente a la ausencia escasa gestión enfocada a la conservación y recuperación de las formaciones dunares.

Frente a esta realidad de degradación dunar, la aplicación de los indicadores elaborados en esta tesis ha permitido clasificar las playas de Cataluña en cuatro grupos según las medidas de gestión que se deben implementar: conservación dunar, restauración dunar, recuperación dunar y renaturalización de la playa. Los resultados obtenidos evidencian que la mayor parte de los casos estudiados ofrecen un notable potencial de restauración dunar. Se trata, sobretudo, de playas urbanas o urbanizadas destinadas a usos y funciones turísticas y recreativas. Un segundo grupo de playas, menos numeroso que el anterior, ha resultado ser idóneo para la conservación de formaciones dunares. Esta categoría comprende playas naturales poco alteradas por la urbanización y la frecuentación antrópica. En tercer lugar, se sugiere la recuperación dunar en aquellas playas donde las dunas han desaparecido durante las últimas décadas y presentan unas características ambientales idóneas para su formación. Finalmente, se recomienda la renaturalización de la playa allí donde las características geoambientales no permiten un gran desarrollo dunar a pesar de que se dediquen esfuerzos de gestión en ésta línea. Este último grupo es muy poco numeroso y se compone de amplias playas compuestas por sedimento medio y grueso y con vientos débiles.

Abstract

Coastal dune systems are located in the inner section of beaches and are essential parts of beach-dune systems. They become exclusive habitats for some animals and floristic species and work as a natural protection barrier for goods located near the shoreline. According to Habitats Directive from the European Union, dunes are habitats of Community interest and some dune environments are even considered of Priority interest. In Catalonia, 11 beach-dune restricted habitats have been identified which host 37 plants whose exclusive habitat are beach-dune systems. Apart from natural and protective functions, beaches also accomplish cultural and leisure role.

Dune morphologies are dynamic environments of great ecological, biological, geological and landscape values, under constant natural and human disturbance. The accelerated intensification of economic activities along the coast during the last decades has led to an accelerated occupation of the coastal areas, particularly along the low-lying coastal stretches. Usually, urbanization processes causes the disappearance of the coastal dune systems. The *artificialization* and *rigiditization* of the coast complicates beach-dune systems recovery after non-storm periods. Storms erosion produces dune scarp that recovers naturally during calm seasons. The disappearance of the dune landscape hinders the exchange of sediments between beach and dunes and endangers the littoral active zone. Sediment budget is also modified by the decrease in sediments provided by rivers and alongshore transport disruption.

In this context of rapid change in beach-dune systems, the historical transformation in Catalan dune systems has been described and assessed. This research quantifies the change and points out its main causes. Likewise, the current dune morphologies are studied and classified according to morphological and ecological criteria. Finally, a set of check list indexes are developed with the objective of assessing the different parts that interact in the beach-dune system and establish the dune restoration potential of each system. Depending on this potential, beach-dune systems have been classified according to the most appropriate management measures.

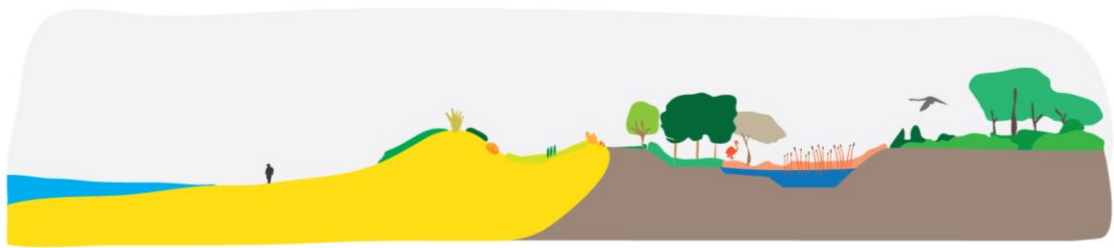
The results validated that human developed coasts in Catalonia show a high-degraded dune landscape. Along the last decades, dunes have disappeared from 60% of the beaches studied, whereas 30% of dunes have been reduced in extension, and only 10% have suffered fewer changes. Costa Brava is one of the most affected regions by dune degradation, closely followed by Barcelona province and Costa Daurada. The land cover changes analysis confirmed that reduction of dune habitat occurred due to urbanization processes and the prioritization of recreational functions against natural and protection ones.

As a result of historical transformation, among 823 beaches that currently compose the Catalan shoreline, only 127 host some type of dune morphology comprising incipient dunes, dune ridges, dune ridges with semifixed dunes, ramp type dune, climbing dunes, fixed dunes and dune fields. The most extensive and developed dunes are located in the Ebre Delta, Costa Daurada, Pals Bay, Llobregat Delta and in the Gulf of Roses. Other dune systems are small-sized and associated to urban structures that impede their full development. Regardless of their volume and extension, the Catalan coastal dunes reflect, in general, an advanced status of degradation related to the lack of management focused on maintaining and restoring dune morphologies.

Given this dune degradation, the application of the indexes proposed in this Thesis allowed to classify beaches of Catalonia in three groups according to the most suitable management measures: dune conservation, dune restoration, dune recovery and renaturalization of the dry beach. The results verify that the most part of studied beaches

presents higher values in dune restoration potential index, which corresponds to urban and urbanized touristic beaches. Secondly, a group of beaches is defined for conservation measures and composed by natural beaches. A third group is proposed for dune recovery where dunes have been disappeared during the last decades and beaches present environmental characteristics good enough for dune development. Finally, it has been recommended the renaturalization of beaches in those systems whose environmental characteristics do not allow dune ridge development. These beaches are the ones made up of coarse sands with light winds.

1. Introducció



1.1. Justificació de la tesi doctoral

La present tesi doctoral s'emmarca dins la línia d'investigació sobre el paisatge dunar de Catalunya en què el grup de recerca "Laboratori d'Anàlisi i Gestió del Paisatge" (LAGP) del Departament de Geografia (Universitat de Girona) hi té un bagatge i un recorregut consolidat.

Amb relació a les tasques de recerca, el LAGP compta amb una trajectòria de dues dècades centrada en la gestió integral de zones costaneres. En són exemples els projectes de *Desarrollo y validación de un método de valoración del recurso playa como ayuda a la gestión integrada de zonas turísticas costeras* (Plan Nacional de I+D 2003-2006), de *Delimitación funcional de los elementos de conservación como objetivo de la gestión integrada de zonas costeras: la estructura ecológica principal* (Plan Nacional de I+D 2006-2009), de *Metodologías y conocimientos para validar un nuevo modelo integral de gestión de playas como objetivo de la GIZC* (Plan Nacional de I+D 2009-2012). Concretament, aquesta tesi s'ha realitzat dins el marc dels dos darrers projectes del LAGP, *Explorando la resiliencia de las playas dentro del proceso de cambio global: riesgos y oportunidades* (Plan nacional de I+D 2013-2016) i *Gestión integrada de la zona coster 2.0: herramientas para la implementar el enfoque ecosistémico en la gestión de playas* (Retos para la sociedad - I+D+i); i s'ha finançat amb l'ajuda del Programa de Formación de Profesorado Universitario (Referencia FPU15/03073) atorgada pel Ministerio de Educación, Cultura y Deporte.

Fruit de les investigacions del LAGP n'han sorgit nombroses publicacions, entre les quals despunten les relatives a l'estudi de l'estat actual dels sistemes platja-duna, així com també sobre la transformació recent del paisatge dunar de Catalunya. El projecte d'investigació que es presenta en aquesta monografia parteix d'aquests treballs previs que els profunditza i n'amplia les àrees d'estudi. A més, aquesta tesi inicia una nova línia de treball dins el grup de recerca: l'estudi del potencial de restauració dunar de les platges mitjançant mesures de gestió sostenibles.

1.2. Estat de la qüestió: obres i mètodes en l'estudi de sistemes platja-duna

Les obres i els antecedents presentats en aquest punt han servit com a punt de partida a partir del qual s'ha dissenyat el full de ruta del present treball d'investigació. Una vegada exposat l'estat de la qüestió sobre els tres eixos clau d'estudi, s'exposen les preguntes de recerca i els objectius generals i específics

1.2.1. El paisatge dunar a Catalunya

El paisatge dunar de Catalunya ha merescut l'atenció de diversos treballs que n'han descrit i estudiat la seva formació i evolució al llarg del temps, així com les seves particularitats florístiques i/o morfològiques. En general, els textos dedicats a l'espai dunar català analitzen les dunes d'algun sector geogràfic concret que, en la majoria dels casos, coincideix amb els les formacions dunars més remarcables situades en deltes i planes deltaiques.

Són abundants els treballs dedicats al delta de l'Ebre, tant els relatius a la formació i evolució del mateix delta (Alvarado-Aguilar, Jiménez, & Nicholls, 2012; Guillén & Palanques, 1992; Ibáñez, Sharpe, Day, & Prat, 2010; Jiménez, 1996; Jiménez, Sánchez-Arcilla, Valdemoro, Gracia, & Nieto, 1997; Jiménez, Valdemoro, Bosom, Sánchez-Arcilla, & Nicholls, 2017; Maldonado, 1972; Mariño, 1992; Nelson, 1990; Palanques, Plana, & Maldonado, 1990; Sánchez-Arcilla, Jiménez, Valdemoro, & Gracia, 2008); com els estrictament destinats als aspectes florístics (Curcó, 1990, 1996, 2001, 2007) o a les dinàmiques eòliques i morfologies dunars (Barrio-Parra & Rodríguez-Santalla, 2016; Barrio-Parra, Rodríguez-Santalla, Taborda, & Ribeiro, 2017; Maldonado, 1972; Montoto, Falqués, Iranzo, & Caballeria, 1996; Rodríguez-Santalla et al., 2017, 2015, 2009; Serra, Rodríguez, Sánchez, & Montoya-Montes, 2012).

També a les planes deltaïques de l'Empordà hi són copiosos els treballs dedicats a l'evolució de la línia de costa i del paisatge costaner (Crous & Pintó, 2005; Marqués & Julià, 1983; Montaner, 1996, 2010; Montaner et al., 2014, 2010; Montaner, Solà, Mas-pla, & Pallí, 1995; Rambaud, 2005; Romagosa, 2007, 2009); a la flora litoral (Font & Corominas, 2005; Font, Gesti, Vilar, Juanola, & Viñas, 1998; Font, Vilar, Watt, Gesti, & Viñas, 1996; Gesti, 1998, 2006; Gesti & Vilar, 2002; Vilar, Gesti, Watt, Font, & Campos, 2001); i als aspectes més singulars de la dinàmica sedimentària i les morfologies dunars (Durán, Guillén, Ruiz, Jiménez, & Sagristà, 2016; Marqués & Julià, 1988; Marqués, Julià, & Montaner, 2011; Marqués, Psuty, & Rodríguez, 2001; Roig-Munar et al., 2017; Sainz-Amor, 1988; Sainz-Amor & Julià, 1999). És en aquest àmbit territorial on cal fer esment de les obres dedicades a les grans morfologies dunars interiors situades als massissos del Montgrí i de Begur (Artigas, 1875, 1880, 1885b; Carandell, 1978; Cros, 1987; Cros & Serra, 1990, 1993; de Ferrer, 1895; Frigola i Vidal, 1999; Kith, 1955; Molina, 1999; Pintó, Panareda, Mas, & Carbó, 1997; Pipió i Gelabert, 1998, 1999b, 2008, 2013).

Menys quantiosos són els treballs dedicats al delta del Llobregat on no s'han localitzat estudis dedicats exclusivament a les dinàmiques sedimentàries o a les morfologies dunars. Les investigacions d'aquest àmbit territorial fan referència a la formació del delta i a l'evolució de la línia de costa (Bech & Pérez, 1982; Cabello, Cuevas, & Ramos, 2007; Faura-i-Sans & Vilaseca, 1920; Marcos-Valiente, 1987; Marqués, 1966, 1975, 1984; Solé, 2005), així com també al paisatge vegetal del delta, entre el que s'inclou la vegetació dunar (Esteban, 1994; Germain & Pino, 2018; González, Hoyo, Seguí, & Valverde, 2016; González, Hoyo, & Valverde, 2006; Panareda & Pintó, 2015; Paüll & Panareda, 2018; Pino, Seguí, & Alvarez, 2006; Pintó, Panareda, & Martí, 2014; Valverde-Martínez & Valverde-Valera, 2019; Valverde, 1998).

En un segon ordre de rellevància, pel que respecte l'abundància de les investigacions, es situen les monografies dedicades a d'altres espais dunars catalans. Les següents línies recullen, a tall de síntesi, les obres i el seu interès central sobre la recerca a l'entorn del paisatge dunar a Catalunya:

- Les dunes de la cala Borró, situades al Cap Ras, s'analitzen i es classifiquen en el treball dut a terme per Roig-Munar, Pintó i Martín-Prieto (2009).
- Les úniques dunes fòssils de Catalunya, les dunes de Covarques, es situen al Cap de Creus i han estat estudiades i descrites per Serra (2000). Així mateix, Yélamos (2009) dedica el seu treball de final de carrera, dirigit pel mateix Dr. Serra, a analitzar-ne en detall la seva gènesi i evolució.
- Carolina Martí i Pintó (2002) descriuen el paisatge litoral del paratge de Castell, al municipi de Palamós, en delimiten l'entorn dunar, n'estudien les comunitats i en llisten les espècies d'ambients de platja-duna.
- Les dunes dels Muntanyans, situades als municipis de Torredembarra i Creixell, són objecte de multitud d'obres d'àmbit local que remarquen i valoritzen les nombroses particularitats de l'entorn. Entre tots aquests treballs destaquen els que avaluen la platja dels Muntanyans des d'una òptica eminentment botànica (Gil, 2005; Gual, 1996; Perdigó & Papió, 1985; Pintó, 1999).
- Les grans formacions de dunes mòbils que s'estenien cap a l'interior del Cap de Salou han estat objecte de treballs de recerca antics (Bataller & Vilaseca, 1923; Faura-i-Sans, 1917). Malgrat la seva rellevància tant pel que fa la superfície que ocupaven, com l'alçada que assolien, no s'han localitzat treballs recents dedicats a aquestes formacions.
- Per últim, Gutiérrez et al. (2014) han estudiat la flora del sistema dunar de la platja del Torn, al municipi de l'Hospitalet i Vandellòs de l'Infant, on s'identifica l'*Echium arenarium*, una de les 37 espècies exclusives d'ambients de platja-duna que, en el conjunt de platges catalanes, només s'ha identificat en aquest indret.

A banda dels estudis de sectors dunars concrets, manquen documents que descriguin i analitzin el conjunt d'espais dunars que conformen la costa catalana. Destaca, en aquest sentit, la síntesi sobre el paisatge dunar a Catalunya que efectua Pintó (2012) on contextualitza el canvi econòmic i social que ha comportat la desaparició d'hàbitats dunars i descriu els cinc principals sectors de dunes: el golf de Roses, la badia de Pals, el delta del Llobregat, el sector dels Muntanyans i el delta de l'Ebre. L'autor fa especial èmfasis en la composició del paisatge vegetal que complementa amb altres treballs dedicats a la fitogeografia de les dunes de la costa catalana (Pintó, Panareda, & Martí, 2012). Per l'àmbit de la Costa Brava, el mateix autor encapçala una detallada anàlisi de l'estat de conservació que presenten les morfologies dunars per a la costa gironina, alhora que les classifica segons els resultats obtinguts en cinc grups segons la degradació que presenten les morfologies (Pintó, Martí, & Fraguell, 2014). Per aquesta finalitat els autors desenvolupen un seguit d'índex basats en llistes de control que permeten l'aplicació d'aquest mètode a cadascun dels sistemes estudiats i comparar-los entre sí.

2.3.2. Documents històrics per a analitzar els canvis en el paisatge dunar

L'ecologia històrica és una disciplina que es focalitza en definir el paisatge de temps passats amb l'objectiu de predir les tendències futures i aplicar mesures correctores orientades a la conservació i restauració ambientals (Egan & Howell, 2001; Higgs et al., 2014; Sandlos, Wiersma, & Alagona, 2012; Swetnam, Allen, & Betancourt, 1999). Els mètodes d'ecologia històrica consisteixen en la consulta de documentació històrica com les fotografies convencionals o aèries, cartografia topogràfica o temàtica, o les entrevistes a testimonis (Norton, 1984). La utilització de fonts històriques per reconstruir l'estat dels ecosistemes permet analitzar la transformació soferta en les darreres dècades (Egan & Howell, 2001; Malavasi, Santoro, Cutini, Acosta, & Carranza, 2013).

En relació a les investigacions sobre la transformació històrica del paisatge dunar a Catalunya, el nombre de documents és molt ajustat i tan sols despenen les incipients investigacions sobre la regressió dels principals sectors dunars dutes a terme per Pintó i Panareda (2007) i per Pintó i Garcia-Lozano (2016). És en aquest darrer treball on també es presenta la situació actual del paisatge dunar a Catalunya així com una classificació de les tipologies dunars presents. Els mètodes emprats per a determinar la transformació del paisatge dunar es remunten a la consulta de textos i mapes històrics així com fotografies de principis de segle passat. Aquesta tècnica

En un context territorial més acotat, Pintó et al., (1997) analitzen l'evolució del paisatge dunar del massís de Begur, mentre que Priestley (2015) estudia els canvis en el paisatge costaner del sector dels Muntanyans on, de passada, es constata la desaparició dunar d'alguns sectors concrets. Al marge d'aquests treballs, al delta de l'Ebre s'han dut a terme investigacions sobre la regressió de la línia de costa que acrediten la desaparició dunar per erosió marina (Barrio-Parra & Rodríguez-Santalla, 2016; Rodríguez-Santalla et al., 2009; Sánchez-García, Rodríguez-Santalla, & Montoya-Montes, 2011).

En el context sobre monografies de ressò internacional, la repetició de fotografies antigues i actuals s'ha utilitzat sovint per quantificar el canvi vegetal que han experimentat les muntanyes i els ambients rurals al llarg de la segona meitat del segle passat (Hendrick & Copenheaver, 2009; Zier & Baker, 2006). Altres autors recorren la cartografia antiga per concretar els canvis recents en matèria d'usos i cobertes del sòl (Bajocco, de Angelis, Perini, Ferrara, & Salvati, 2012; Srinath & Millington, 2016), així com documents escrits per determinar els efectes històrics de les sequeres sobre poblament (McLeman, Herold, Reljic, Sawada, & McKenney, 2010). La combinació d'aquestes fonts documentals és la variant més utilitzada en ecologia històrica alhora de reconstruir diferents ecosistemes forestals (Gimmi & Bürgi, 2007), agraris (Morris, 2012), o fluvials (Beller, Downs, Grossinger, Orr, & Salomon, 2016).

Seguint aquesta línia d'investigació, i al marge dels treballs esmentats anteriorment focalitzats en el litoral català (Pintó & Garcia-Lozano, 2016; Pintó & Panareda, 2007; Pintó et al., 1997; Priestley, 2015), també s'ha determinat l'evolució històrica d'alguns sistemes dunars costaners a les illes Canàries (Santana-Cordero et al., 2015; Santana-Cordero, Monteiro-Quintana, & Hernández-Calvento, 2016; Santana Cordero, Monteiro Quintana, & Hernández Calvento, 2014) i a Menorca (Roig-Munar, 2011; Roig-Munar, Pons, Martín-Prieto, Rodríguez-Perea, & Mir-Gual, 2012). Així mateix, altres estudis aconsellen l'ús de fotografies històriques i testimonis orals dels residents per determinar l'amplada original de les platges (Grafals-Soto, 2012). L'amplada adequada per la restauració dunar és diferent per a cada platja i s'ha de determinar a partir d'una aproximació de la seva amplada original.

2.3.3. Indicadors ambientals per analitzar l'estat actual de sistemes platja-duna

Els primers indicadors sobre l'estat del medi ambient es desenvolupen a les dècades dels anys 60 i 70 del segle passat. Des de llavors, se n'ha generalitzat el seu ús per a la avaluació i el seguiment dels elements i les condicions ambientals de determinats espais o ecosistemes. Un indicador ambiental és una variable que pot ser mesurada en relació a un criteri específic (Patel-Weynand, 2002) i que representa components i processos dels ecosistemes (Bernard, 2002; Heink & Kowarik, 2010). Els indicadors simplifiquen una realitat que és complexa a fi de transmetre els coneixements que s'obtenen de les observacions realitzades o de les dades disponibles. La comunicació i l'intercanvi d'informació sobre un problema en concret és la principal funció dels indicadors (National Research Council, 2000; Smeets & Weterings, 1999).

Malgrat la creixent necessitat de restauració dunar, aquest tema no acapara l'interès central dels estudis de sistemes arenosos costaners (Lithgow et al., 2013). Les platges se solen avaluar mitjançant indicadors qualitius i/o quantitius que permeten fer un rànquing per al seu ús turístic-recreatiu, ja sigui des de l'òptica paisatgística (Anfuso, Williams, Cabrera Hernández, & Pranzini, 2014; Ergin, Karasmen, Micallef, & Williams, 2010; Williams, Micallef, & Anfuso, 2012); quantificant els serveis pels usuaris i la seva percepció (Cervantes & Espejel, 2008; Leatherman, 1997); des del punt de vista del sanejament (Todd & Bowa, 2016); dels usos del sòl de l'entorn de la platja (Vaz, Williams, Pereira da Silva, & Aysen, 2017); o utilitzant una visió holística més general (Ariza et al., 2010; Botero, Pereira, Tomic, & Manjarrez, 2015; Lucrezi, Saayman, & van der Merwe, 2016; McLachlan, Defeo, Jaramillo, & Short, 2013; Peña-Alonso, Pérez-Chacón, Hernández-Calvento, & Ariza, 2018).

En un altre àmbit de recerca es situen un seguit de treballs que avaluen la vulnerabilitat dels sistemes platja-duna segons les pressions, naturals i antròpiques, a les quals estan sotmesos. En aquesta línia, al llarg de la dècada dels anys noranta es va establir un mètode basat en llistes de control àmpliament utilitzat per a quantificar la vulnerabilitat dels sistemes dunars situats al nord-oest del continent europeu (Bodéré et al., 1994, 1991; Davies, Williams, & Curr, 1995; Laranjeira, Pereira, & Williams, 1999; Williams et al., 1994). Es definia vulnerabilitat com el grau de susceptibilitat d'un sistema dunar a experimentar canvis i degradació irreversibles. En concret, es va desenvolupar un indicador basat en paràmetres morfològics, ecològics i antròpics que permetia quantificar el grau de vulnerabilitat de diferents sistemes i comparar-los entre ells.

Aquesta metodologia va ser actualitzada per García-Mora et al. (2001) per estudiar la vulnerabilitat de sistemes dunars al sud de la península Ibèrica, prenent des de llavors molta rellevància l'estudi de la vegetació dunar per a l'anàlisi global del sistema. Posteriorment, la mateixa metodologia va ser adaptada per Martínez et al. (2006) per a aplicar-la a les zones dunars del golf de Mèxic; per Peña-Alonso et al. (2018a; 2017) per a les Illes Canàries; i per Ciccarelli et al. (2017) per a Itàlia.

Finalment, en un pla més proper a l'àrea d'estudi, s'ha utilitzat indicadors basats en llistes de control per analitzar l'estat actual de les dunes costaneres a la Costa Brava (Pintó et al.,

2014); així com per relacionar mesures de gestió amb l'estat morfològic i ecològic de les dunes a les Illes Balears i a la Costa Brava (Roig-Munar et al., 2006, 2017, 2018).

Tal i com constataven Lithgow et al. (2013), els sistemes d'avaluació del sistema platja-duna analitzen el sistema sense detallar-ne el potencial de restauració dunar. Destaca, però, l'aportació de Lithgow et al. (2014) on proposaven l'índex ReDune, mètode destinat a mesurar el potencial de restauració de les *foredunes* al golf de Mèxic. Mitjançant l'aplicació d'aquest índex, conclouen que els llocs amb més potencial de restauració de l'estat de Veracruz (Mèxic) es situen en emplaçaments turístics molt degradats i amb taxes altes d'urbanització.

1.3. Preguntes de recerca

La present tesi doctoral respon un conjunt de preguntes de recerca que s'han classificat en 3 blocs, coincidint així amb els tres blocs d'estudi en els quals es divideix la tesi:

1. Quantes platges hi ha a Catalunya amb algun tipus de morfologia dunar? De quina tipologia són les dunes del litoral català? Es poden agrupar segons altres classificacions dunars ja establertes en altres contextos territorials, o bé s'ha d'ajustar una catalogació de tipus dunar específic per a la costa catalana?
2. Quantes platges amb dunes hi havia a Catalunya durant la primera meitat del segle XX? Aquestes dunes han desaparegut, s'han reduït d'extensió, o bé s'han mantingut igual? Quines són les causes o els vectors de transformació? Quins són els canvis d'usos i cobertes del sòl a l'entorn d'aquestes platges?
3. Les dunes que han desaparegut es poden recuperar? I les que s'han degradat es poden restaurar? Es pot quantificar el potencial de restauració dunar? Quines mesures de gestió s'han d'implementar als sistemes platja-duna per a conservar, restaurar i recuperar dunes? Es poden classificar les platges segons les mesures de gestió més adients a implementar?

1.4. Objectius

A continuació s'especifiquen els tres **objectius generals** i, dins d'aquests, cadascun dels **objectius específics** que responen les qüestions plantejades anteriorment:

1. Identificar i classificar les dunes del litoral català
 - 1.1. Quantificar el nombre de sistemes dunars
 - 1.2. Establir una classificació de dunes adaptada a la costa catalana
2. Analitzar la transformació històrica del paisatge dunar a Catalunya
 - 2.1. Analitzar i descriure l'evolució històrica de les grans morfologies dunars a Catalunya al llarg dels darrers segles
 - 2.2. Determinar el canvi del paisatge dunar dels sistemes platja-duna de la costa catalana al llarg de les darreres dècades
 - 2.3. Avaluar els canvis d'usos i cobertes del sòl dels sistemes platja-duna afectats per conèixer possibles causes de la transformació paisatgística
3. Desenvolupar un conjunt d'indicadors que permetin estudiar de manera integrada els sistemes platja-duna del litoral català i el seu potencial de restauració dunar
 - 3.1. Descriure les principals dimensions del sistema platja-duna a partir d'un conjunt d'indicadors basats en llistes de control
 - 3.2. Relacionar les principals dimensions del sistema platja-duna per establir patrons i definir tendències
 - 3.3. Quantificar el potencial de restauració dunar
 - 3.4. Classificar les platges de Catalunya segons les mesures de gestió i planificació més adequades en cada cas

2. Marc teòric



Les platges són morfologies costaneres compostes per sediment no consolidat originades per l'acció de l'onatge que consten d'una part submergida i una part emergida, a més d'un espai de transició entre ambdós espais (Inden & Moore, 1983; Tinley, 1985). És a la part emergida de la platja on hi té lloc l'acció del vent, que s'encarrega de transportar sorra a la part alta de la platja. Gràcies al transport de sorra per acció de les onades i el vent, moltes platges acumulen morfologies dunars a la zona seca (Psuty, 1988; Short & Hesp, 1982). Les dunes són monticles de sediment no consolidat que, en major o menor mesura, estan colonitzats per vegetació.

En condicions naturals, les dunes es consoliden just per sobre de l'onatge ordinari (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010; Maun, 2009) i interactuen amb la platja mitjançant l'intercanvi de sediment a través del vent i els temporals formant així un sol sistema, el sistema platja-duna (Psuty, 1988; Short & Hesp, 1982; Tinley, 1985). En costes antròpiques la ubicació de les dunes es troba condicionada a les preferències de l'home que determinen on s'ubiquen les morfologies dunars, més que no pas la interacció dels fenòmens eòlics sedimentaris, l'erosió de l'onatge i el creixement de la vegetació (Nordstrom, 1994). Els sistemes platja-duna de costes baixes poden manifestar-se associades a una zona de maresmes i llacunes associades a les depressions de darrera els primers cordons dunars.

Les dunes costaneres es diferencien principalment de les dunes continentals per la influència marítima, tant per l'efecte dels temporals, com per l'aportació de matèria orgànica i per l'alta salinitat (Bird, 2008; McLachlan & Brown, 2006; McLachlan & Defeo, 2018b). A més, aquestes morfologies constitueixen un dels sistemes naturals més mòbils i dinàmics, alhora que són un element clau per a la protecció de la costa. Al mateix temps però, els sistemes platja-duna són un dels espais naturals més vulnerables, sotmesos a perturbacions constants per part de la natura i l'ésser humà (Davies, Williams, & Curr, 1995; García-Mora et al., 2001; Gracia et al., 2009; Sanjaume & Gracia, 2011; Williams et al., 1994).

Les morfologies dunars i el seu entorn tenen diversos valors intrínsecs per la multitud de serveis i funcions que desenvolupen i que es podrien resumir en tres (Davidson-Arnott, 2010; Defeo et al., 2009; Gracia et al., 2009; Miller, 2015; Rodríguez-Revelo, Espejel, Arredondo García, Ojeda-Revah, & Sánchez-Vázquez, 2018; Valls, Rucabado, Sardá, & Parera, 2017):

- **Valors naturals:** La varietat de factors geoambientals i topogràfics que conformen els sistemes platja-duna fa que aquests espais alberguin una gran diversitat d'hàbitats i, per tant, un gran nombre d'espècies. Nombroses espècies de flora i fauna que habiten les platges i dunes tenen el seu hàbitat exclusiu en aquests ambients i en nombroses ocasions es tracta d'espècies endèmiques (Miller, 2015). Els hàbitats dunars són espais d'interès comunitari d'especial conservació que en alguns casos estan catalogats com a zones de protecció prioritària per la Directiva Hàbitats (CEE, 1992).

A banda d'allotjar una elevada biodiversitat, les morfologies dunars també ofereixen altres valors com aigües dolces subterrànies de gran qualitat que són aprofitades com a recursos naturals per l'aprovisionament de nuclis urbans, així com d'activitats agràries (Defeo et al., 2009; Gracia et al., 2009; van Der Meulen, Bakker, & Houston, 2004). La gran permeabilitat i porositat d'aquestes morfologies no compactades permet la filtració de l'aigua mentre aquesta es depura de manera natural oferint reservoris d'aigua dolça d'excel·lent qualitat i puresa.

- **Valors de protecció:** Les platges i dunes són un element dissipatiu de l'energia de les onades i actuen com a barrera natural dels temporals de mar oferint protecció als béns i serveis situats darrera la primera línia de mar que d'altra manera quedarien negats d'aigua (Judge, Overton, & Fisher, 2003; Marcenò et al., 2018; Taylor, Gibeau, Yoskowitz, & Starek, 2015). Les dunes, a més de ser un reservori natural de sorra de la mateixa unitat platja-duna, també protegeixen la mateixa platja de l'erosió ja que quan bufa el vent retenen bona part del sediment gràcies a les mates de vegetació que esdevenen trampes naturals de

sorra, impedingent la transgressió de sorres terra endins. Sense aquest sistema de retenció la sorra s'infiltraria terra endins i es perdria bona part del recurs fonamental del sistema platja-duna, ja que aquesta darrera que actua com a dipòsit de sorra i ajuda a equilibrar el balanç sedimentari de la platja.

- **Valors culturals:** les platges i dunes donen suport a nombroses activitats tradicionals i modernes de caire cultural i econòmic, com la pesca o la vetllada de festes populars. Per altra banda, les platges són un suport evident per activitats d'oci turístiques relacionades amb els banys de sol i mar, activitats que, dit sigui de passada, han donat lloc a l'artificialització de moltes regions del litoral (Nordstrom, 2000). Tot i la degradació que suposa l'activitat turística, val a dir que esdevé un sostén econòmic fonamental per les regions litorals.



Figura 1. Platja natural de la Fonollera (Torroella de Montgrí, Girona). Per mitjà de la gestió, es combinen les funcions culturals i recreatives amb les de protecció i naturals. Aquesta unitat platja-duna permet el gaudi dels visitants per mitjà de la contemplació paisatgística i dels banys de sol i mar, alhora que allotja biodiversitat i protegeix l'entorn immediat de la platja dels temporals de mar.

Data: juny de 2018

Més enllà de les activitats recreatives que generalment susciten les platges com a destí turístic, convé ressaltar que les dunes són elements d'un gran valor estètic i paisatgístic, tant en platges naturals com en platges urbanes. Les platges són un destí per contemplar i gaudir dels cromatismes, formes, sorolls i olors que proporcionen la combinació d'ambients terrestres i marins, a més dels celatges que ofereixen durant les postes i sortides del sol. Amb tot això, proporcionen un recurs espiritual de primer ordre i generen benestar a les persones que les visiten (Defeo et al., 2009; Nordstrom, 2000). Williams, Micallef, & Anfusó (2012) subratllen el paper dels cordons dunars ben desenvolupats i vegetats a primera línia de mar com a element dissuasiu de l'impacte visual i sonor dels espais urbanitzats vers els turistes que cerquen tranquil·litat i relaxació, accentuant així a la funció d'espiritualitat de les platges.

En costes antròpiques, la gestió de platges està enfocada a potenciar l'experiència recreativa dels usuaris, més que a assegurar la coexistència de les tres funcions del sistema platja-duna (Ariza, 2011; Ariza et al., 2010; Lozoya, Sardá, & Jiménez, 2014; Williams & Micallef, 2009; Yepes, 2002). Al litoral català molt poques platges combinen les funcions recreatives, la natural i la de protecció, i les que ho fan es releguen a alguns espais naturals protegits on es fomenta la conjunció de les tres funcions (Figura 1).

2.1. Sistemes platja-duna en costes naturals

Les platges acumulen sediment a la zona emergida gràcies a l'acció de l'onatge que posteriorment serà arrossegat pel vent al seu extrem interior, formant així morfologies dunars. Aquest procés ha tingut lloc durant diferents èpoques geològiques. Alguns camps dunars que actualment s'estenen centenars de metres terra endins tenen el seu origen durant les transgressions marines de l'Holocè, moment en què la dinàmica marina alimentava les platges amb dipòsits sedimentaris glaciars. Altres, en canvi, es van formar exclusivament pel transport eòlic del sediment emergit del fons del mar durant les baixades de nivell del mar del Pleistocè. Aquests dos processos han contribuït a les formacions dunars més extenses (Bird, 2008) que a escala planetària es situen a les costes de tots els continents (Figura 2).

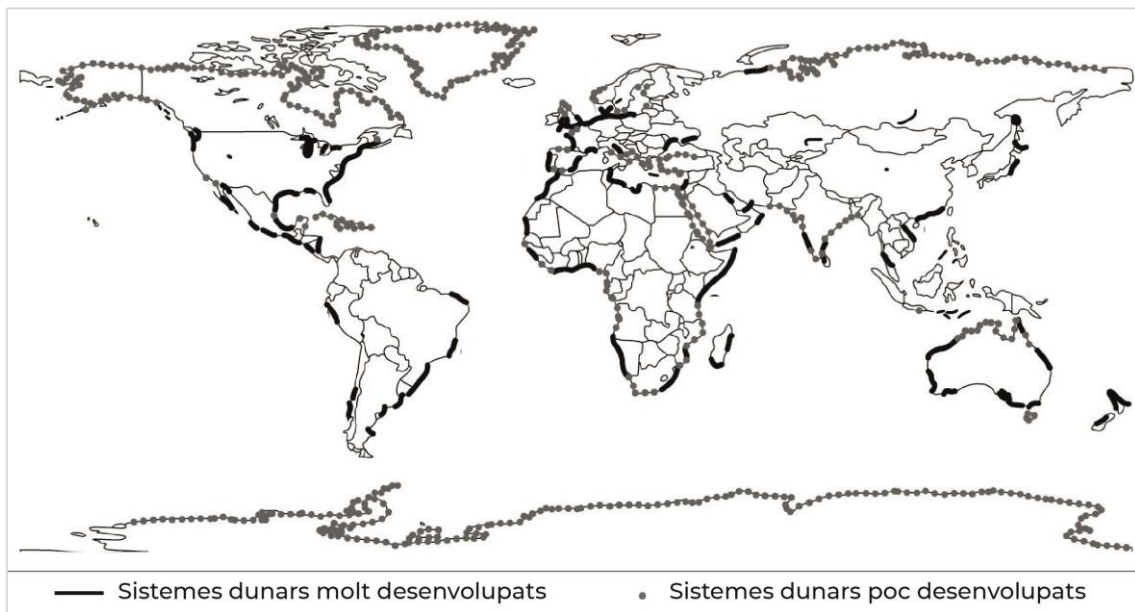


Figura 2. Emplaçament dels principals sistemes dunars costaners i lacustres d'arreu del món

Font: Martínez i Psuty (2004)

En sistemes dunars molt desenvolupats i extensos, les dunes holocèniques s'assenten sobre dunes plistocèniques. Posteriorment, durant la Petita Edat de Gel (s. XIV – XIX), alguns sistemes dunars es van reactivar gràcies a la combinació de forts vents i la baixada del nivell del mar (Houser & Ellis, 2013). Aquest fenomen és l'origen de la major part de dunes de l'hemisferi nord, entre les que trobem les formacions dunars més desenvolupades de Catalunya (Montaner, 2010).

Els sistemes dunars de formació recent solen ser de menor entitat que les holocèniques i plistocèniques i es deuen a la font de sediments aportats pels rius. Actualment, les dunes s'alimenten de sediments subministrats pels rius, i en menor mesura procedents de l'erosió de penya-segats, arrossegat per les corrents marines i l'onatge. En algunes regions, les fonts sedimentàries d'origen biològic, com les restes vegetals provinents de les praderies de fanerògames marines (Roig-Munar, 2005) o els exosquelets calcaris dels animals marins (Inden & Moore, 1983), són un component d'equilibri important per la unitat platja-duna.

Les dunes més extenses i desenvolupades es situen en platges amples i d'alt rang mareal on hi bufen vents de mar cap a terra (*onshore winds*), generalment localitzades a les costes atlàntiques d'Europa, a les costes Americanes del Pacífic, al sud-est d'Àustràlia i al sud del

continent africà. Aquestes dunes seran més ufanoses si les platges són pròximes a desembocadures de rius, espais ben alimentats amb sediments sorrenca. La costa mediterrània, sotmesa a rangs mareals baixos, vents menys intensos i subministrament sedimentari modest, presenten morfologies dunars de menor entitat que les costes anteriorment esmentades.

Bird (1990) classificava les dunes a les costes europees i recalca les diferències entre dunes atlàntiques i dunes mediterrànies. Les primeres disposen de vents forts i estan molt alimentades per sorres a través dels rius, fet que les dota d'unes dimensions no comparables amb les dunes de menor entitat mediterrànies. A més, les característiques climàtiques i geomorfològiques de cada lloc fa que trobem unes dinàmiques i unes morfologies dunars molt diferents a cada indret segons les característiques topogràfiques.

2.1.1 Formació dunar

La formació de dunes es dona en situacions on hi ha abundància de sediment, transport eòlic amb *onshore winds*, amplada suficient per acumular sediment i un obstacle que disminueixi la velocitat eòlica i en permeti la deposició (Bird, 2008; Carter, Nordstrom, & Psuty, 1990; Davidson-Arnott, 2010; Houser & Ellis, 2013; Maun, 2009; McLachlan & Brown, 2006; Psuty, 1988, 2004; Short & Hesp, 1982). Generalment aquests obstacles són plantes pioneres especialitzades en aquests ambients que van creixent a mesura que s'acumula més sorra, incrementant així el volum de morfologies incipients. La unió d'aquestes morfologies, cada vegada més grans, va formant la primera línia de cordons dunars paral·lels a la costa. En costes progradients s'inicia novament el procés, donant lloc així a una successió de cordons dunars terra endins, més antics contra més allunyats de la costa. En costes on l'aportació de sediment és escassa i els *onshore winds* no són gaire intensos, només es desenvoluparà un cordó dunar (Davidson-Arnott, 2010). En la literatura aquesta franja de dunes davanteres ha estat anomenada de formes diferents (dunes primàries o davanteres, entre d'altres), però la més utilitzada és el terme de *foredune* (Hesp, 1988).

Les dunes es desenvolupen per mitjà de dos processos: o bé la sorra és capturada o retinguda per algun obstacle, o bé la sorra forma petites ondulacions (*ripples*) sense vegetació que gradualment s'expandeixen per formar sistemes dunars més extensos i complexos (McLachlan & Brown, 2006; McLachlan & Defeo, 2018b). Els obstacles poden ser plantes o restes orgàniques o inorgàniques arrossegades a la costa a través l'onatge, com poden ser algues, petxines, roques o troncs. En costes humanitzades o prop d'aquestes s'hi solen acumular deixalles que sovint també actuen com a obstacles per a la formació dunar (Figura 3). En ocasions, les deixalles originen la formació de morfologies erosives i contribuint així a la desestructuració del sistema dunar.

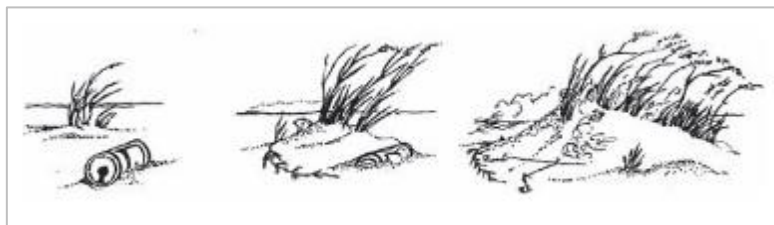


Figura 3. Inici de formació dunar a partir de la fixació de materials sorrenca per acció de vegetació o altres elements que generen irregularitats en el terreny

Font: McLachlan i Brown (2006)

El desenvolupament dunar depèn sobretot de la velocitat, intensitat i direcció del vent, la intensitat de l'onatge i la freqüència dels temporals, de la disponibilitat i característiques del sediment i del rang mareal (Carter et al., 1990; Houser & Ellis, 2013). Short i Hesp (1982) i

Psuty (1988) inicien l'estudi dels intercanvis de sediment entre la platja i la duna, i estableixen que aquestes interaccions es succeeixen quan els *onshore winds* traslladen arena a la platja alta fins a formar dunes, mentre que al seu torn, les dunes cedeixen material a la platja quan els vents provinents de terra (*offshore winds*) traslladen la sorra fins la platja o bé quan l'onatge sobrepassa els seus límits ordinaris en episodis de temporals i s'incorpora material de la duna a la platja submergida, format una barra sorrenca o *offshore bar* (Figura 4). La formació dunar té lloc quan el balanç sedimentari del sistema és positiu en el sector de duna, és a dir, quan la duna rep més volum de sorra procedent de la platja que el que li cedeix en episodis d'erosió. Aquesta zona va ser anomenada per Tinley (1985) com a "zona litoral activa" (*littoral active zone*), i la seva integritat es considera crítica per l'equilibri del sistema platja-duna.

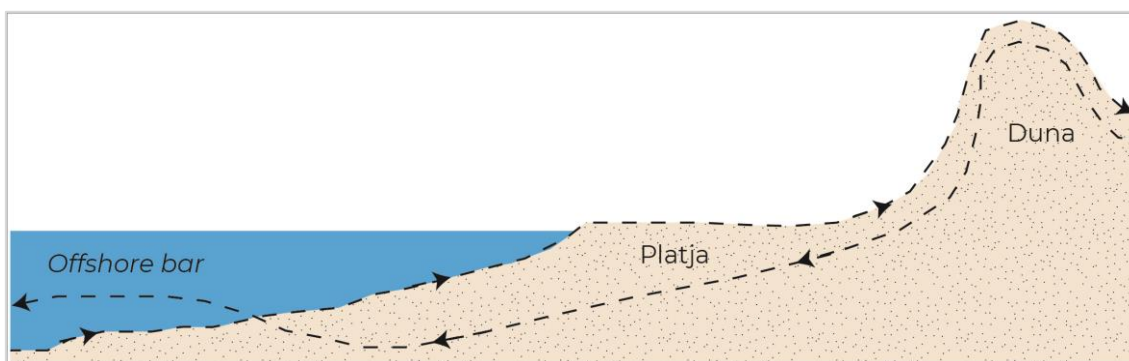


Figura 4. Dinàmica de la zona litoral activa on s'intercanvia sediment entre la platja i la duna durant els períodes de bonança i temporals. Durant els temporals, l'onatge i els vents provinents de terra o *offshore winds* erosionen la *foredune* i la platja i els materials sorrenca són dipositats a la platja submergida on es forma una barra sorrenca o *offshore bar*. En èpoques de bonança aquesta barra és retornada a la platja emergida on els vents provinents del mar (*onshore winds*) transporten part de l'arena a les dunes, contribuint així a mantenir l'equilibri del sistema platja-duna.

Font: Modificat de Psuty (1988, 2004)

L'intercanvi arenós entre les unitats de platja i duna (Figura 4) fa que la primera franja de dunes davanteres es consideri l'espai que dona estabilitat a tot el conjunt del sistema platja-duna. Gallego-Fernández, García-Mora, i Ley (2003) anomenen aquest espai *sistemes dunars actius*, i el consideren un espai de transició entre la platja i les dunes interiors fixades amb vegetació. S'inclouria també en aquest espai les dunes incipients i els primers cordons dunars poc estabilitzats amb vegetació. La formació d'aquest sistema depèn majoritàriament de l'abundància i el diàmetre del sediment, del règim eòlic i del perfil de platja (Carter, Nordstrom, et al., 1990; Carter & Woodroffe, 1994). La vegetació, molt estretament subjecta a aquests factors, és un factor clau per a la formació dunar que s'ha hagut d'especialitzar per colonitzar aquests espais de transició entre terra i mar (Hesp, 1991; Martínez & Psuty, 2004; Maun, 2009).

Més enllà d'aquests espais de dunes davanteres colonitzades per vegetació pionera, la influència de la primera línia del litoral es va afeblint (Figura 5). La salinitat, la porositat, el vents, la mobilitat del sòl, la temperatura i la radiació solar disminueixen, alhora que augmenten la humitat i la presència de nutrients. Amb aquestes condicions més favorables, trobem un segon espai format per dunes semi-estabilitzades que va donant pas al darrer ambient dunar, les dunes completament estabilitzades per vegetació arbòria i arbustiva (Gracia et al., 2009).

Els principals factors que determinen el desenvolupament dunar són principalment l'aprovisionament de sediment, el règim eòlic, el clima d'onatge, la humitat i el creixement de la vegetació (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010; Houser & Ellis, 2013; McLachlan & Brown, 2006; McLachlan & Defeo, 2018b; Pye, 1990). En menor mesura, la salinitat i la topografia de la platja (amplada i pendent) també són determinants per a la formació de dunes (Martínez & Psuty, 2004; Maun, 2009).

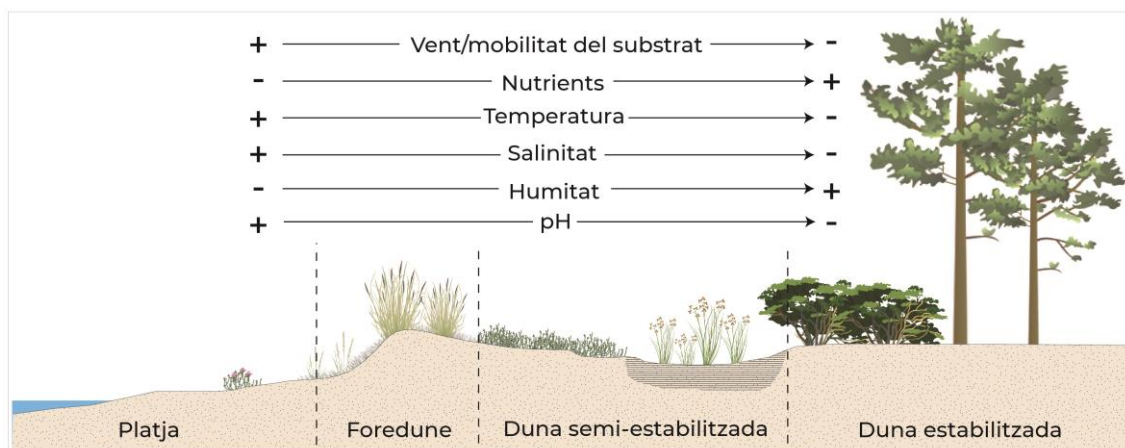


Figura 5. Gradients dels factors d'estrès al llarg del perfil-platja duna
 Font: Modificat de McLachlan i Defeo (2018b)

Aportació de sediment

El creixement de les dunes depèn del subministrament de sediment procedent de varies fonts: marina, fluvial i erosió local provinent dels penya-segats. El balanç sedimentari de la zona litoral activa determina en quina mesura una costa sorrenca és erosiva, estable o progradant. La primera línia de dunes és un element que regula l'estabilitat del sistema platja-duna ja que actua com a reserva natural de sediment en la zona litoral activa (Sherman & Bauer, 1993).

Les característiques físiques i químiques del sediment, juntament amb la topografia de la platja i la intensitat del vent determinaran la mobilitat del substrat. Ara bé, el subministrament de sorra a la platja dependrà dels següents factors: existència de cursos fluvials, proximitat i continuïtat respecte la font d'aportació sedimentaria, amplada i profunditat de la plataforma continental, i penya-segats susceptibles a ser erosionats (Gracia et al., 2009).

Aproximadament entre 70-75% del sediment que arriba a la costa a través dels cursos fluvials es queda a l'entorn proper de la riba, mentre que la resta es dirigeix de forma irreversible als canons submarins (Davis, 2013; Valiela, 2006). A més, bona part del sediment que arriba a la costa no es pot distribuir al llarg del litoral per la discontinuïtat del transport longitudinal (Dean & Dalrymple, 2004). La disponibilitat limitada de sediment i l'àmbit de distribució restringit de les costes baixes fa que els sistemes dunars costaners siguin ambients vulnerables des de la seva formació.

A les costes d'Europa i dels Estats Units les corrents de deriva condicionen el subministrament sedimentari de les platges gràcies al transport longitudinal. En canvi, altres platges, com per exemple les australianes, s'alimenten de sediments provinents de la plataforma continental i dels esculls coral·lígens (Gracia et al., 2009). En el cas del litoral català, s'associa la formació de dunes amb les desembocadures fluvials que transporten abundants quantitats de material sedimentari. Les costes baixes compten grans

acumulacions de sediment que serviran d'aliment a d'altres platges situades dins la mateixa cèl·lula litoral a través del transport longitudinal.

Règim eòlic

Les partícules de sorra són transportades pel vent per saltació, per tracció o per suspensió, i es dipositen novament quan la velocitat del vent disminueix, quan la fricció amb la superfície augmenta, o bé quan troben un obstacle (Bagnold, 1941). La velocitat mínima que necessita el vent per moure un gra de sorra depèn de les característiques físiques i químiques del sediment i de les característiques ambientals i topogràfiques. Les superfícies compactades per humitat o crostes de sal són menys movibles que les sorres seques i no compactades, mentre que les altes temperatures ambientals afavoreixen el transport en aire (Lancaster, Baas, & Sherman, 2013; Nickling, 1986). Bagnold (1941) determinava el llinard de velocitat del vent superior a 4 m/s i McLachlan i Defeo (2018) apunten que a 10 m/s el moviment de la sorra s'incrementa notablement. Williams, Duck i Phillips (2011) i Bird (2008) estableixen una mida de gra d'entre 0.1 a 0.3 mm de diàmetre per al desenvolupament abundant de dunes. Degut al fet que el desplaçament dels grans de sorra es produeix en la direcció de sobrevent a sotavent, es necessiten *onshore winds* per a la formació dunar. Walker et al. (2017) alerten que la direcció i l'angle d'incidència del vent al topar amb la *foredune* són determinants per a l'acumulació o l'erosió de sorra en el front dunar.

El vent, a més, fa arribar partícules de sal en suspensió (*salt spray*) de mar cap a terra, tot augmentant la salinitat en superfície de la zona litoral activa i condicionant la mobilitat de les partícules i la morfologia dunar.

El transport eòlic està limitat a períodes de bonança restringit a situacions durant les quals els *onshore winds* alimenten a les dunes amb sorres procedents de la platja seca i les onades no s'enduen novament la sorra a la platja submergida (Arens, 1996).

Clima d'onatge/Influència marina

La intensitat de l'onatge, la freqüència dels temporals, les marees, les corrents longitudinals i transversal controlen el balanç sedimentari de la zona litoral activa. L'energia de les onades depèn de la altura, longitud i propagació d'ona que, al seu torn, depèn de la intensitat, la direcció i el temps en què bufa el vent. El *fetch* o la distància recorreguda pel vent en línia recta sense canviar de direcció, també determina l'energia de les onades, que serà més gran contra més longitud de *fetch*. Els corrents longitudinals i transversals depenen de la orientació de la costa respecte la direcció predominant del vent (Gracia et al., 2009; Sanjaume & Gracia, 2011).

L'onatge i els temporals de mar no només aporten sediment a les platges, sinó que determinen l'erosió de les dunes a través d'un escarpament de la primera façana dunar (*dune scarp*). El balanç sedimentari és negatiu en situacions en què l'erosió dunar i el transport de sorra cap a la platja submergida és superior a l'aportada de la unitat platja cap a les dunes. Els sistemes platja-duna sotmesos a un balanç sedimentari negatiu de forma perllongada en el temps tendeixen a la regressió i, fins i tot, a desaparèixer.

Creixement vegetal

La superfície vegetal augmenta la rugositat de la superfície i fa disminuir la velocitat del vent, fet que afavoreix la deposició dels materials sedimentaris i la formació dunar. Al seu torn, les tiges i fulles interfereixen en la mobilitat dels grans en saltació fent-los caure en superfície i atrapant-los a la base vegetal (Hesp, 1991; Maun, 1998). El creixement de la vegetació controla la retenció i deposició sedimentaria, modela la duna i determina la ubicació de les crestes dunars (Yousefi Lalimi, Silvestri, Moore, & Marani, 2017).

Les plantes pioneres especialitzades toleren l'enterrament, la mobilitat de la sorra, la salinitat i el vent, fet que afavoreix la progressiva acumulació de sorra i la conseqüent

formació de dunes incipients, les quals s'uneixen a la platja alta per formar el primer cordó dunar (*foredune*). Arens et al. (2001) estudien els efectes de la vegetació en la captació d'arena i conclouen que les plantes amb més densitat de tiges i més alçada generen uns perfils dunars més alts i inclinats en comparació amb els perfils dunars generats per plantes baixes i de tiges poc denses on l'acumulació de sediment és més uniforme. Darrera la *foredune*, la sedimentació sorrenca no és tan elevada, en funció de l'estat de conservació d'aquesta, i les condicions ambientals varien notablement: augmenta la humitat, disminueix la salinitat, el vent i la mobilitat del substrat, fet que facilita la colonització d'espècies vegetals llenyoses més pròpies de la rereduna.

Humitat

La humitat compacta la sorra de la platja alta i dificulta el transportar de sediment. Tot i això, Bird (2008) apunta que els vents d'alta intensitat ràpidament assequen la superfície de la platja emergida i poden transportar sorra fins i tot quan plou. El grau d'eixutesa de la sorra depèn de múltiples factors com ara la porositat del sediment, el règim eòlic, la temperatura ambiental, la precipitació, les mareas, el règim d'onades, els temporals de mar i el nivell freàtic (Davidson-Arnott, 2010; Martínez & Psuty, 2004; Maun, 2009). Per a una formació dunar òptima, el nivell freàtic ha d'estar situat a mínim 2 metres de profunditat (McLachlan & Defeo, 2018b).

Salinitat

El grau de salinitat està directament vinculat amb el transport eòlic i la temperatura. El vent arrossega partícules salines diminutes (*salt spray*) i les diposita a la platja, mentre que la temperatura facilita l'evaporació i augmenta la concentració salina a la sorra. Les crostes compactades de sal en superfície són més abundants contra més a prop del mar, i fan augmentar el llindar de velocitat eòlica necessària pel transport arenós (Bird, 2008).

Topografia

Finalment, la topografia és un factor important per la formació dunar ja que la platja seca ha de ser suficientment plana i ampla per acumular la major sedimentació sorrenca possible. Short i Hesp (1982) inicien l'estudi de la morfodinàmica del sistema platja-duna i associen la presència de grans formacions dunars amb platges dissipatives (amples, de poc pendent i sorra fina), més que a platges reflexives (més estretes, costerudes i de materials més grollers). Els pendents suaus faciliten l'acumulació i transport de sorra a través de les onades, que una vegada seca és transportada pel vent. Tot i això, en costes estretes i micromareals també s'hi allotgen morfologies dunars formades per cordons dunars i dunes estabilitzades si l'amplada de la platja, el flux sedimentari i el transport eòlic ho permeten (Houser & Ellis, 2013).

2.1.2. Tipus de dunes

Tradicionalment les dunes s'han classificat seguint una amalgama de criteris morfològics, ecològics, d'estabilitat, cronològics, cromàtics, posicionals i topogràfics. Els més utilitzats, però, han estat una combinació de criteris morfològics, ecològics i d'estabilitat.

Així, una de les classificacions més utilitzades és la clàssica tipologia dunar establerta per Norbert Psuty (Psuty, 1989) i adaptada per Bird (1990), Carter et al. (1990) i Hesp (1991). Aquesta classificació dunar es basa en el desenvolupament morfològic, l'estabilitat de les dunes i la seva posició. La nomenclatura utilitzada per referir-se als diferents tipus de dunes fa referència a dunes primàries o *foredunes*, dunes secundàries, dunes parabòliques i dunes transgressives.

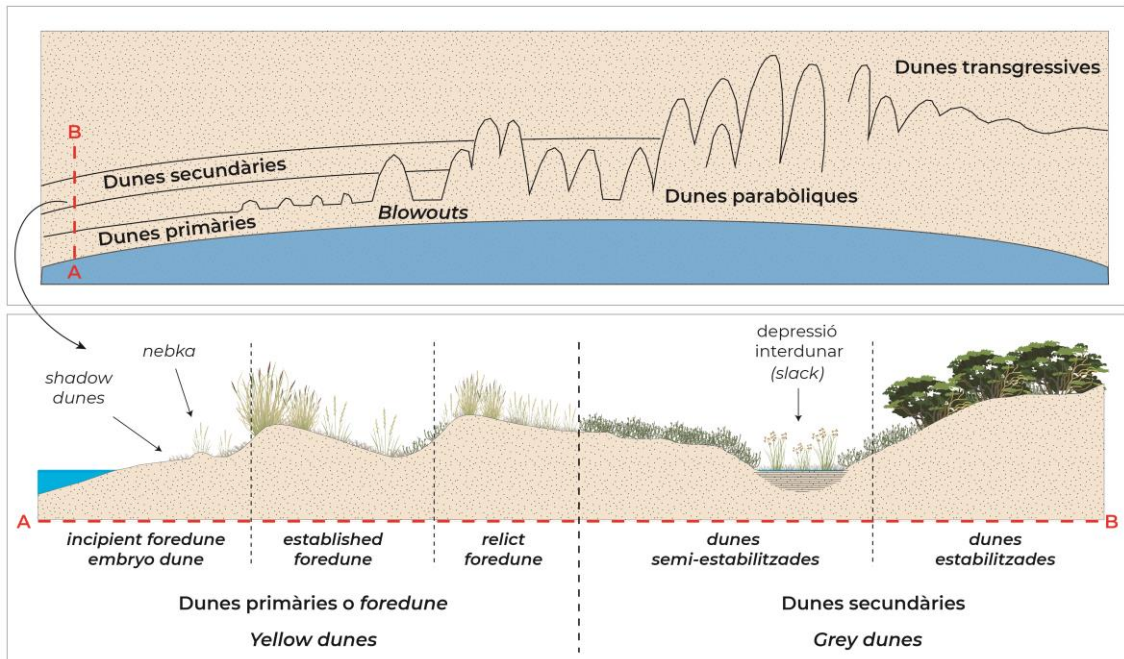


Figura 6. A dalt, esquema dels tipus de dunes: dunes primàries i secundàries, *blowouts*, dunes parabòliques i dunes transgressives. La secció A-B és un transecte de mar cap a terra on es detalla (a sota) els tipus de dunes primàries i secundàries. Les divisions de la *foredune* mantenen la terminologia original en anglès establerta per Hesp (1989).

Font: Modificat de Bird (2008)

Aquestes morfologies poden ser resultat d'una successió en el desenvolupament dunar (Figura 6). En costes progradients, les dunes primàries esdevindrien amb el pas del temps dunes secundàries, situades terra endins i totalment estables i colonitzades per comunitats vegetals. En estadis evolutius d'erosió i desestabilització de les dunes primàries vegetades, s'inicien morfologies erosives o *blowouts* causats per punts d'erosió i reactivats pels forts vents. Amb el temps, aquestes morfologies erosives esdevenen dunes parabòliques (Figura 7), i si l'erosió es perllonga encara més, les morfologies dunars en forma de paràbola esdevenen camps dunars transgressius nus de vegetació (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010).



Figura 7. Morfologia *blowout* a la punta de la Banya, al delta de l'Ebre

Data: abril de 2019

Dunes primàries o foredune

Les *foredunes* o dunes primàries són acumulacions o crestes dunars disposades en una o més franges paral·leles a la costa. Aquesta zona també s'ha anomenat duna davantera o *yellow dune* (Bird, 1990; Carter, Nordstrom, et al., 1990). En aquest espai és on es duu a terme l'intercanvi de sediment entre els diferents components del sistema platja-duna: acumula sorra provinent de la platja seca en períodes de bonança d'onatge, al mateix temps que aporta sorra terra endins, i cedeix material a la platja submergida durant els temporals (Bird, 2008; Carter, Nordstrom, et al., 1990; Davidson-Arnott, 2010; Goldsmith, 1985a; Pilkey, Neal, Kelley, & Cooper, 2011; Psuty, 1988, 2004; Short & Hesp, 1982).



Figura 8. Parts d'una *foredune* segons Hesp (1989) a la platja de Pals (Girona). L'acordonament afavoreix el desenvolupament de *foredunes* incipients ja que la resguarden del trepig i de la neteja mecànica.

Data: juny de 2018

Hesp (1989) distingeix entre dunes incipients (*embryo dunes* o *incipient foredune*), aquelles en procés de formació per vegetació pionera, i dunes estables o fixades per vegetació herbàcia (*established foredune*) que han assolit una cresta dunar d'alçada raonable (Figura 8). McLachlan & Defeo (2018) afegeixen una tercera categoria (*relict foredune*) que fa referència als vestigis de *foredunes* que han quedat retirades terra endins en costes progradants. En relació a les dunes incipients, Maun (2009) estableix que els petits monticles o *shadow dunes* que es formen al voltant de vegetació o altres materials van acumulant la sorra a sotavent de l'obstacle fins que aquest acumula al voltant d'1 o 2 metres d'alçada, esdevenint així una morfologia *nebka* o duna embrionària.

Seguint criteris cromàtics i segons el seu grau d'antiguitat, maduresa i evolució, les dunes primàries o *foredunes* també han estat denominades dunes grogues (*yellow dunes*) (Bird, 2008; Gracia et al., 2009; Sanjaume & Gracia, 2011). Les dunes relativament recents d'origen holocènic adquireixen cromats blanquinosos o groguencs. Les *yellow dunes* inclourien les dunes primàries o davanteres amb cobertura vegetal escassa, així com les dunes mòbils parabòliques o transgressives (Bird, 2008). El seu pigment es deu a l'alt contingut de sorres bioclàstiques, o la presència de grans de quars o calcàries. La superfície encara no ha estat lixivada i els grans conserven un recobriment d'òxid de ferro. Tot i això, la coloració de la sorra no depèn exclusivament del seu grau d'antiguitat, sinó de l'origen del sediment que les forma.

Gracia-Prieto et al. (2009) alerten que les dunes fòssils plistocèniques mediterrànies presenten tonalitats groguenques malgrat tractar-se de dunes antigues ja que la seva compactació no ha afectat al color ni la composició mineralògica, sinó que simplement presenten nivell superiors de carbonats respecte les dunes holocèniques.

Patrick Hesp (Hesp, 1988, 2002) proposa una classificació morfo-ecològica de la *foredune* basada en la degradació i/o erosió que experimenta el sistema (Figura 9). A resultes de l'erosió morfològica, les dunes perden cobertura vegetal a mesura que s'avança en les fases de degradació (Figura 9). Les cinc fases descrites per Hesp passen de l'estadi 1 a l'estadi 5, en una progressió que s'assoleix a mesura que els processos erosius avancen i disminueix la cobertura vegetal de les morfologies dunars davanteres (Taula 1). Hesp (2002) va determinar que per revertir la degradació del sistema dunar cal aplicar certes mesures de gestió, com la revegetació i l'estabilització del sistema platja-duna.

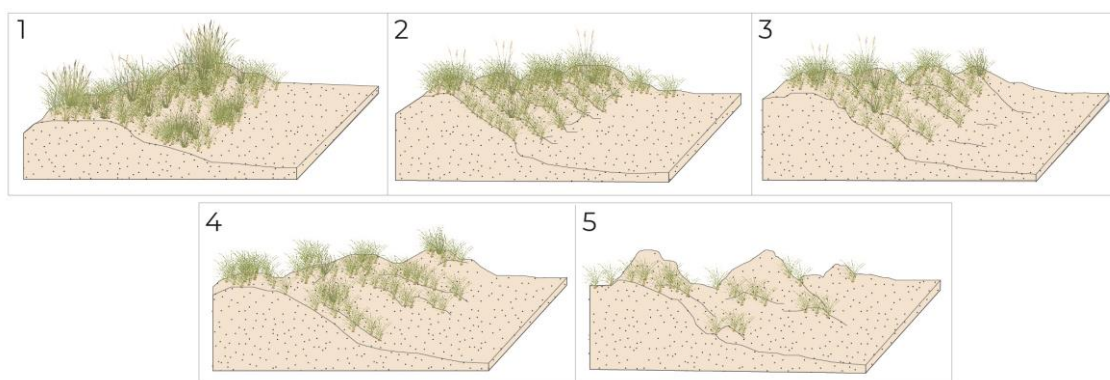


Figura 9. Estadis de degradació de les *foredunes* des del seu estat òptim (1) al seu estat de màxima erosió abans de desaparèixer (5). El grau de cobertura vegetal i la presència de morfologies erosives determinen l'avenç des de l'estadi 1 al 5.

Font: Modificat de Hesp (1988, 2002)

Taula 1. Descripció dels estadis de degradació establerts per Hesp (2002)

1. Estadi natural	Les <i>foredunes</i> presenten un grau de conservació bo, sent contínues morfològicament i amb un bon percentatge de cobertura vegetal.
2. Estadi incipient erosiú	El cordó de <i>foredunes</i> és continu, però presenta cert nombre de processos erosius, en forma de canals de deflació o <i>blowouts</i> efimers.
3. Estadi erosiú	El cordó de <i>foredunes</i> comença a ser discontinu i mancat de vegetació, amb elevat nombre de processos erosius, en forma de canals de deflació que travessen perpendicularment les morfologies terra endins. Aquestes alteracions del primer cordó dunar afecten a l'estabilitat de les dunes mòbils i consisteixen en una reactivació de la dinàmica afectant al conjunt del sistema.
4. Estadi erosiú avançat	Les <i>foredunes</i> presenten importants discontinuïtats i presenten morfologies aïllades entre canals de deflació cap al interior del sistema. Es troben morfologies relictas aïllades envoltades de canals de deflació o superfícies d'abrasió sense morfologies aparents ni cobertura vegetal que fixi els processos de transport eòlic.
5. Estadi erosiú o de desaparició de les morfologies davanteres	Les <i>foredunes</i> ja han desaparegut per complet, convertint-se la superfície ocupada originàriament per morfologies dunars en superfícies de deflació.

Dunes secundàries

Les dunes secundàries són morfologies dunars situades en la segona franja del litoral, just després de les dunes primàries (Figura 10) o, fins i tot, es poden estendre centenars de metres terra endins, situant-se al rerepaís costaner. El seu origen es deu a l'erosió i transferència de sorra provinent de les dunes primàries o davanteres, o bé a la progradació de la costa, deixant un o més cordons de dunes relegats a l'interior.



Figura 10. Diferents parts de les dunes primàries i secundàries a Platja de Pals (Girona)
Data: juny de 2018

Alguns autors consideren que aquestes dunes són espais estables colonitzats per vegetació llenyosa (Gracia et al., 2009), dins la qual es pot diferenciar entre dunes semi-establitzades o dunes establitzades (Figura 10). Psuty (1989, 2004) diferencia entre dunes secundàries actives i estables. Les primeres han estat creades per l'erosió de les dunes primàries a través de morfologies erosives com *blowouts* o dunes parabòliques formant dunes transgressives cap a la segona franja del litoral. Les segones han estat colonitzades per vegetació ja sigui mentre s'anaven formant amb sediment provinent de l'erosió de les dunes primàries, o bé en costes progradants mentre les morfologies dunars s'anaven confinant a l'interior.

Seguint criteris cromàtics, les dunes secundàries han estat denominades dunes grises (*grey dunes*), terminologia que fa referència a dunes arcaiques plistocèniques. La coloració es justificaria per l'alt contingut de matèria orgànica per la presència de vegetació llenyosa, i per la lixiviació del sòl en dunes antigues (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010). És en aquesta zona de dunes, o entre aquesta i les dunes davanteres, on hi poden haver depressions interdunars seques o humides (Figura 11). Les humides reben el nom d'*slacks* i apareixen quan el nivell freàtic està just per sota de la superfície.

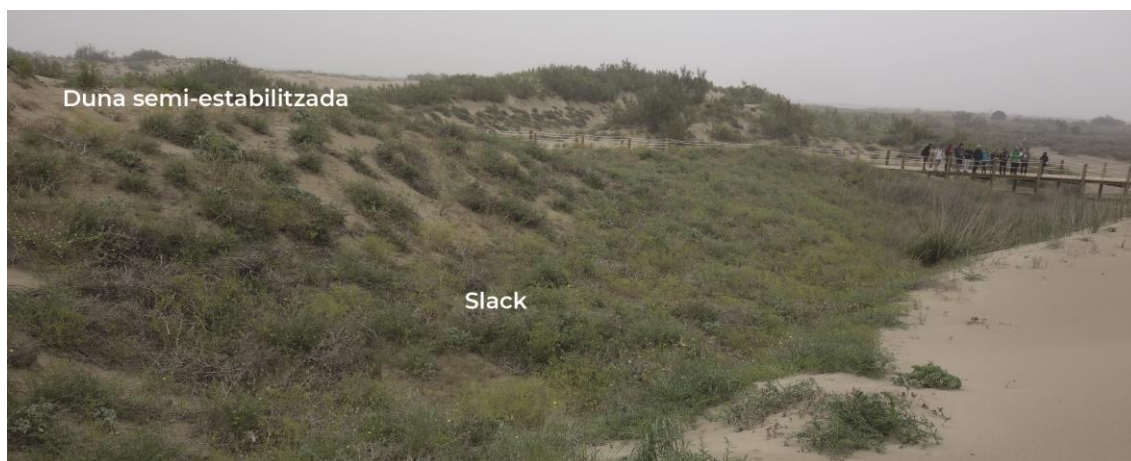


Figura 11. Platja del Garxal, just davant de la urbanització de Riumar, al delta de l'Ebre (Deltebre, Tarragona). Les depressions interdunars o *slacks* es situen entre dunes semi-estabilitzades.

Data: maig de 2018

Dunes parabòliques

Les *foredunes* estabilitzades per vegetació sovint són erosionades per efecte del vent allà on la vegetació és més laxa o ha estat debilitada, ja sigui per causes climàtiques o per la freqüentació d'animals o persones. Aquesta morfologia erosiva rep el nom de *blowout* (Figura 7) que al seu torn pot créixer fins a esdevenir una duna parabòlica (Figura 12). Bird (2008) parla de dunes parabòliques quan un *blowout* s'allarga en forma d'U fins a tres vegades la seva amplada. El pendent exterior de les dunes parabòliques està fixat per vegetació, fet que permet un avanç moderat de la duna terra endins, seguint la direcció del vent. En episodis de calma erosiva, les dunes parabòliques poden ser colonitzades completament per vegetació. Mentre que si l'acció erosiva es manté i la vegetació es redueix, les dunes parabòliques es converteixen en dunes transgressives.



Figura 12. Duna parabòlica de la punta de la Banya, al delta de l'Ebre (St. Carles de la Ràpita, Tarragona). Els braços de la paràbola dibuixen una "U" oberta en la direcció dels vents dominants que provenen de la serra del Montsià, cadena muntanyosa situada al fons de la imatge.

Data: abril de 2019

Dunes transgressives

Les dunes transgressives són morfologies actives, inestables i mòbils que es desplacen terra endins des de la platja en la direcció del vent. Poden ser des de làmines de sorra, dunes parabòliques no vegetades i *barkhanes*, fins a grans acumulacions de sediment no consolidat. Les *barkhanes* són monticles de sorra en forma de mitja lluna similars a les dunes parabòliques, però de creixement invers: mentre l'obertura de l'arc de les morfologies parabòliques mira en la direcció dels vents dominants, l'obertura de les *barkhanes* ho fa en la direcció oposada als vents dominants. L'origen de les dunes transgressives pot ser l'últim estadi erosiu d'una *foredune*: formant-se *blowouts*, dunes parabòliques i finalment dunes transgressives. O bé pot ser el primer estadi evolutiu d'una duna en situacions de vents molt forts, abundant aportament sedimentari i manca de vegetació que fixi la sorra (Bird, 1990, 2008; Hesp, 2013).

Altres classificacions

Hunter et al. (1983) es centren en la direcció dels vents i proposen una **classificació morfodinàmica** de les morfologies dunars segons els vents que les formen. Diferencien entre dunes transversals, obliqües i longitudinals segons la direcció dels vents que les origina (Figura 13).

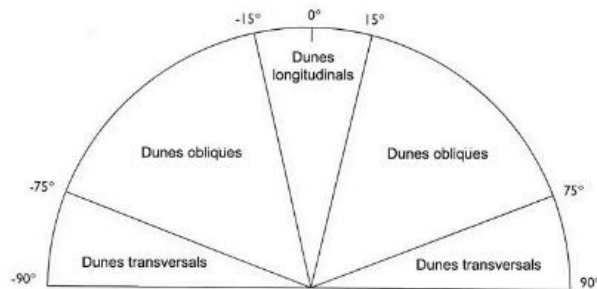


Figura 13. Classificació morfodinàmica segons la direcció del vent que origina les morfologies dunars

Font: Modificat de Hunter et al. (1983)

McKee i Bigarella (1979) consideren tan sols la forma externa de les dunes, i estableixen una **classificació morfològica** de les dunes en sis tipus: *barkhanes*, creixents, lineals, inverses, estrellades i parabòliques (Figura 14).

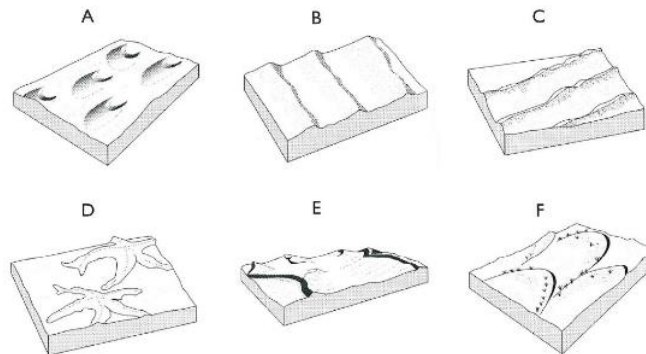


Figura 14. Classificació morfològica. A: *Barkhanes*; B: creixents; C: lineals; D: estrellades; E: inverses; F: parabòliques

Font: Modificat de McKee i Bigarella (1979)

Pye i Tsoar (1990) també fan una **classificació morfològica**, però en aquest cas es basen la seva **gènesi** per agrupar les morfologies en tres tipus: les *fitogèniques* o les formades per un obstacle vegetal, les *topogèniques* o formades per un obstacle topogràfic, i les *autogèniques* o formades sense cap obstacle.

Si es té en compte **critèris topogràfics** les dunes topogràfiques es poden classificar segons els obstacles que troben i que en condicionen el seu desenvolupament. Goldsmith (1985b, 1985a) va classificar les dunes segons si es el transport eòlic ha situat la duna dalt d'un penya-segat (*cliff-top dunes*), si la sorra grimpa a través d'un obstacle (*climbing dunes*), si l'ha sobrepassat i es troba descendint (*falling* o *descending dunes*) o si l'envolta (*wrap around dunes*) (Figura 15). També va denominar *eco-dunes* a aquelles dunes situades davant d'un obstacle però no adosades a aquest. Es tracta de morfologies dunars amb crestes paral·leles a l'obstacle, però que el flux d'aire que les genera alhora les allunya de l'obstacle formant un espai buit entre aquest i l'acumulació de sorra.

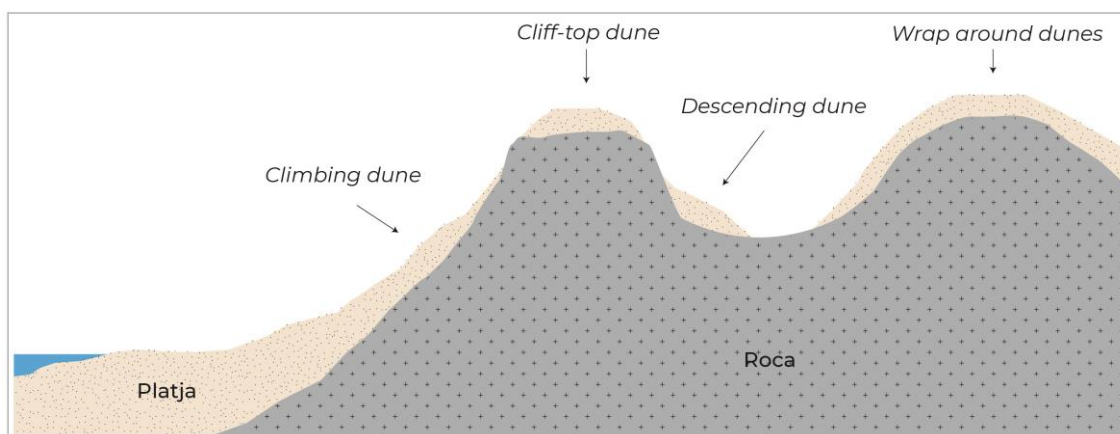


Figura 15. Tipus de dunes següent criteris topogràfics. Les dunes grimpadores o *climbing dunes* s'enfilen vessant amunt fins quedar dipositades dalt d'un penya-segat formant les *climbing dunes*. Una vegada ultrapassen el vessant esdevenen dunes descendents o *descending dunes*. Les morfologies que envolten un obstacle rocallós o muntanyós prenen el nom de *wrap around dunes*.

Font: Modificat de Goldsmith (1985b, 1985a)

2.1.3. Vegetació dunar

Segons Maun (2009) i Miller (2015) la vegetació és l'element biològic més important del sistema dunar ja que és el responsable d'estabilitzar les morfologies i crear estructura d'hàbitat al llarg del perfil platja-duna. La colonització de la vegetació estabilitza la superfície i modela les dunes, alhora que incorpora humus i genera ombra, contribuint així al desenvolupament de l'estructura del sòl i a regular la temperatura i la humitat superficial.

La platja seca és la primera zona que alberga vegetació i és aquí on l'estrès de les plantes és major. Els factors que més dificulten l'adaptació i creixement de les plantes són les altes temperatures, el dèficit hídric, l'exposició al *salt spray*, la manca de nutrients, la velocitat del vent i, sobretot, la mobilitat i enterrament del substrat (Arens et al., 2001; Davidson-Arnott, 2010; Hesp, 1991; Martínez & Psuty, 2004; Maun, 2009; McLachlan & Brown, 2006; McLachlan & Defeo, 2018b). Les plantes adaptades a aquests ambients s'anomenen plantes pioneres especialitzades i creixen a la *foredune*, des de la platja alta fins la *foredune*

estabilitzada. En general aquestes plantes són anuals i la seva presència varia moltíssim any a any a causa de l'elevat dinamisme dels ambients que ocupen (McLachlan & Brown, 2006).

A les regions temperades hi ha un nombre molt elevat d'espècies herbàcies pioneres en la formació de la *foredune* com ara *Ammophila arenaria*, *Elymus farctus*, *Pancratium maritimum*, *Sporobolus pungens* o *Eryngium maritimum* (Hesp, 2004). Les espècies dels sistemes platja-duna, malgrat tenir un caràcter azonal molt marcat a causa de influència del mar, tenen rangs de distribució mundials (Hesp, 1991, 2004).

Factors d'estrès

Les plantes que colonitzen els ambients dunars s'han d'adaptar a un conjunt de perturbacions que varien gradualment a mesura que ens allunyem del mar. Els principals factors d'estrès són el moviment d'arenes i partícules de sal, les altes temperatures, la radiació solar, el dèficit hídric, la velocitat del vent i la manca de nutrients i de matèria orgànica al sòl. Les adaptacions que els diferents organismes han desenvolupat per tolerar les condicions d'estrès ambientals (abiòtics) estan ben detallats (Hesp, 1988, 1989, 1991; Maun, 1998, 2004, 2009)

Segons Maun (1998, 2004, 2009) la tolerància a l'**enterrament** és la principal causa de zonificació d'espècies a la duna davantera. L'enterrament altera les condicions ambientals del voltant immediat de la planta, li fa augmentar la taxa de respiració i li limita la capacitat fotosintètica. Mentre que les herbes són en general força tolerants a taxes mitjanes i altes d'acreció, les plantes llenyoses en són parcial o completament intolerants (Houser & Ellis, 2013). Tot i això, les plantes herbàcies tenen llindars de tolerància ben diferenciats. Quan la mobilitat del substrat i l'acreció de la sorra és molt abundant, la major part de plantes pioneres com *Elymus sp* o *Sporobolus sp* hi creixen escassament, prenent el relleu una de les herbàcies pioneres que gràcies al seu extensiu sistema de rizomes vertical i horitzontals està més adaptada a l'enterrament, l'*Ammophila arenaria* (Bird, 2008; Maun, 2009).

En canvi, a diferència de Maun (1998, 2004, 2009), Wilson i Sykes (1999) van considerar que la **salinitat** és un element més determinant que l'enterrament en la zonificació de comunitats vegetals. La salinitat del substrat es deu a les inundacions constants de la platja alta i pel *salt spray* provinents del mar (McLachlan & Defeo, 2018b; Wilson & Sykes, 1999). Els cristalls de sal en suspensió, juntament amb les partícules de sorra, poden danyar l'estructura de la planta pels seus efectes abrasius al topar-hi a alta velocitat contra les parts més sensibles. A més, l'acumulació de sal a la superfície vegetal genera hipertròfia cel·lular fet que es manifesta per l'increment del volum de les fulles (Hesp, 1991); mentre que l'accés de sal al substrat pot causar necrosis als vegetals que no en toleren altes concentracions (Maun, 2009).

Un altre dels factors determinants en l'estructura de comunitats vegetals és la **disponibilitat d'aigua** que limita el creixement vegetal i esdevé un element d'estrès clau en la zonificació de comunitats (Hesp, 1991; Maun, 2009). La humitat arriba a les dunes per mitjà de varies vies: les precipitacions, la boira, la rosada i el nivell freàtic (Hesp, 1991). Les arrels de les plantes rarament arriben a absorbir aigua del freàtic que en ambients dunars es sol situar a més de dos metres de profunditat (McLachlan & Defeo, 2018b). En aquests ambients, la font hídrica més important s'obté per mitjà de les precipitacions i la condensació. Tot i això, la porositat dels sòls sorrencs disminueix la retenció d'humitat a les capes superficials, fet que augmenta el dèficit hídric. Així, la disponibilitat d'aigua augmenta de mar cap a terra perquè les dunes estabilitzades, amb sòls més desenvolupats, tenen més capacitat de retenir humitat vers les dunes mòbils amb substrats sorrencs molt porosos.

Altrament, estudis realitzats a les costes mediterrànies (Angiolini, Bonari, & Landi, 2018; Fenu & Carboni, 2013; Ruocco, Bertoni, Sarti, & Ciccarelli, 2014) avalen que les **proprietats del sòl** han estat el factor determinat en la zonificació de comunitats vegetals, per bé que

altres factors com la intensitat del vent o l'enterrament també hi han tingut una incidència crucial.

Les propietats del sòl varien a mesura que ens allunyem de la primera línia de mar: el pH disminueix per la producció d'àcids orgànics produïts per la vegetació i per la pluja àcida; els nutrients essencials, en canvi, augmenten terra endins. La primera font de la matèria orgànica que rep el sistema dunar prové dels detritus orgànics depositats a la platja per les onades i pels rius (Maun, 2009). A mesura que la vegetació creix es genera més humus que enriqueix cada vegada més el sòl, en un procés continu que, al front dunar, s'inicia amb cada pertorbació causada per les onades.

També Maun (2009) apunta la manca de macronutrients essencials (nitrogen, fòsfor i potassi) com a principal causa de baixa densitat vegetal a les dunes mòbils més que l'estrès causat per la resta de factors. Les plantes pioneres necessiten poques quantitats de nutrients essencials. De fet amb els provinents del *salt spray*, la pluja i els detritus orgànics depositats a la platja per les onades ja en tenen prou.

Finalment, el vent i la temperatura són elements claus als quals han de fer front les espècies dunars. El **vent** influencia la vegetació en tant que en fa augmentar l'evapotranspiració de l'aigua i el moviment de sorres, causant així enterrament i erosió. Al seu torn, la **temperatura** de la sorra assoleix xifres extremes i amplituds tèrmiques molt marcades que no totes les espècies poden tolerar. Durant els mesos d'estiu el substrat pot arribar a superar els 60° C, mentre que l'amplitud tèrmica de la superfície s'aproxima als 30° C (Maun, 2009).

En un segon ordre d'influències, la **topografia dunar** condiciona la zonificació de les comunitats vegetals presents en el perfil platja-duna en tant que intervé en els factors mencionats anteriorment. Així, en depressions interdunars properes al nivell freàtic (*slacks*) hi apareix un tipus de vegetació molt diferent que a les crestes dunars malgrat trobar-se a la mateixa distància del mar. En aquestes circumstàncies, la cohesió dels materials i la humitat atmosfèrica és superior, alhora que el vent i l'enterrament hi són escassos, contribuint a una millor colonització de la vegetació.

Així mateix, l'**elevació del terreny** determina la presència de certes comunitats en tant que el moviment de sorres transportades pel vent està relacionat amb l'acumulació o l'erosió del substrat (Miller, 2015). Yousefi Lalimi et al. (2017) van trobar que la pendent interior de la *foredune* és el lloc amb més densitat vegetal de tota la duna mòbil ja que els factors d'estrès són notablement menors que a la banda de mar on les inundacions, la salinitat, el vent i l'erosió en són una constant.

Zonificació de comunitats vegetals

Els sistemes platja-duna mostren una successió ecològica molt marcada en el seu transecte de mar cap a terra (Gracia et al., 2009; Pilkey et al., 2011). A mesura que els factors d'estrès ambientals disminueixen, apareixen altres zones amb plantes de distribució més general. Aquest gradient es manifesta clarament en l'augment de la diversitat vegetal a mesura que ens allunyem del mar. A mesura que ens allunyem de la costa i superem la primera zona de plantes pioneres (Figura 16 zona I), apareix la segona zona de plantes herbàcies perennes (Figura 16 zona II), fins que entrem a la tercera zona on guanyen terreny comunitats vegetals arbustives (Figura 16 zona III). En ocasions, una darrera zona està formada per comunitats arbòries fent límit amb el rerepaís costaner.

Maun (2009) defineix el terme *zona* com una àrea ocupada per una comunitat vegetal que es diferencia de les altres zones per un canvi de vegetació dominant. La successió vegetal és un procés de canvi en la composició d'espècies que es dona pel mecanisme d'adaptació a les condicions ambientals.

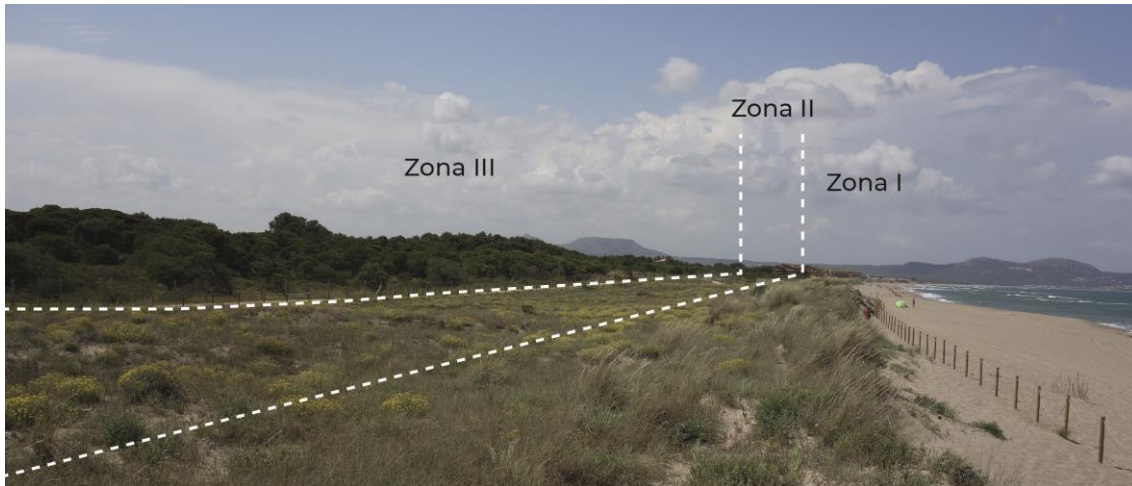


Figura 16. Zones de vegetació, de mar cap a terra, en el sistema platja-duna de la Platja de Pals (Girona)

Data: juny de 2018

En base als factors d'estrès que afecten les dunes, s'han definit nombroses zonificacions de comunitats vegetals de mar cap a terra (Figura 16) segons el seu rang de tolerància a les pertorbacions (Acosta, Ercole, Stanisci, Pillar, & Blasi, 2007; Attorre, Maggini, di Traglia, de Sanctis, & Vitale, 2013; Costa, 1987; de Bolòs, 1967; Doing, 1985; Folch, 1981; Géhu, 1985; Marcenò et al., 2018). Aquesta zonació vegetal té lloc al llarg de les dunes primàries i secundàries, i està estretament vinculada als diferents tipus de dunes descrits anteriorment (Figura 10 i Figura 16).

Les dunes localitzades en regions de clima mediterrani tenen major diversitat vegetal que les localitzades en regions àrides que presenten menys diversitat però més endemismes (McLachlan & Defeo, 2018b). A Europa, les dunes mediterrànies tenen més grups d'aliances vegetals que la resta de dunes europees (Marcenò et al., 2018).

Els hàbitats presents a les costes mediterrànies i europees queden recollides en el grup 22 de la Directiva Hàbitats (CEE, 1992) de la Unió Europea (Taula 2). Segons, Gracia et al. (2009) aquesta classificació manca de rigor científic ja que bona part dels hàbitats restringits a la regió biogeogràfica europea es poden localitzar també a la mediterrània i a l'inrevés. De fet, de tots els hàbitats presents a Espanya, tan sols el 2210 (dunes mòbils embrionàries) es localitza estrictament a les dunes del mediterrani (Taula 2), mentre les altres tenen representació significativa també a les costes banyades per l'Atlàntic (Bartolomé et al., 2005; Gracia, 2009; Gracia et al., 2009).

Taula 2. Presència dels hàbitats dunars marítims europeus a l'estat espanyol segons Bartolomé et al. (2005) i Gracia (2009). S'ha marcat amb un asterisc (*) els hàbitats d'interès prioritari. Codificació i nomenclatura segons la Directiva Hàbitats (CEE, 1992).

Codi	Hàbitat	ES	CAT
21. Dunes marítimes de les costes atlàntiques, del mar del Nord i del Bàltic			
2110	Dunes mòbils embrionàries	×	×
2120	Dunes mòbils del litoral amb <i>Ammophila arenaria</i>	×	×
2130	Dunes costaneres fixes amb vegetació herbàcia	×	
2140	Dunes fixes descalcificades amb <i>Empetrum nigrum</i>		
2150	Dunes fixes descalcificades atlàntiques (<i>Calluno-Ulicetea</i>)	×	
2160	Dunes amb <i>Hippophae rhamnoides</i>		
2170	Dunes amb <i>Salix repens</i> ssp. <i>argentea</i> (<i>Salicion arenaria</i>)		
2180	Dunas forestals de la regió atlàntica, continental i boreal		
2190	Depresions intradunars humides (<i>slacks</i>)	×	×
22. Dunes marítimes de les costes mediterrànies			
2210	Dunes fixes de litoral del <i>Crucianellion maritimae</i>	×	×
2220	Dunes amb <i>Euphorbia terracina</i>		
2230	Dunes amb gespes de <i>Malcomietalia</i>	×	×
2240	Dunes amb gespes de <i>Brachypodietalia</i> i plantes anuals	×	×
2250*	Dunes litorals amb <i>Juniperus</i> spp.	×	×
2260	Dunes amb vegetació escleròfil·la de <i>Cisto-Lavanduletalia</i>	×	×
2270*	Dunes amb boscos de <i>Pinus pinea</i> / <i>Pinus pinaster</i>	×	×

A Catalunya es dona la mateixa dinàmica que la major part de la riba nord del Mediterrani occidental (Costa, 1987; de Bolòs, 1967; Folch, 1981) on apareix la següent zonació de comunitats vegetals il·lustrats numèricament a la Figura 17:

- 1 - Una primera franja de dunes incipients formades pel creixement de plantes pioneres halo-nitròfiles com *Salsola kali* i *Cakile marítima* (comunitat *Glaucio-Cakiletum maritimae*);
- 2 - A mesura que es consoliden les dunes embrionàries apareixen morfologies incipients dominades per *Elymus farctus* i *Sporobolus pungens* (comunitat *Agropyretum mediterraneum*);
- 3 - Quan finalment es consolida el cordó dunar augmenta la cobertura i la diversitat vegetal amb espècies com *Ammophila arenaria* ssp. *arundinacea*, *Medicago marina*, *Eryngium maritimum*, *Silene nicaensis*, *Echinopora spinosa* o *Calystegia soldanella* (comunitat *Ammophiletum arundinaceae*);
- 4 - Després d'aquesta zona de dunes mòbils, les sorres es consoliden amb la fixació de comunitats vegetals dominades per *Crucianella marítima*, *Ononis natrix* ssp. *ramosissima* i *Thymelaea hirsuta* (comunitat *Crucianelletum maritimae*);
- 5 - En zones més properes al nivell freàtic, les petites depressions interdunars són colonitzades per la cesquera (*Erianthus ravenae*) i per algunes espècies de joncs (comunitat *Eriantho-Holoschoenetum australis*);
- 6 i 7 - Finalment, va guanyant lloc la vegetació llenyosa amb (6) savinars (*Juniperus phoenicea*) i (7) bosquines litorals dominades per *Pinus* sp., *Pistacea lentiscus* i *Quercus ilex* (comunitat *Viburno-Quercetum ilicis*).

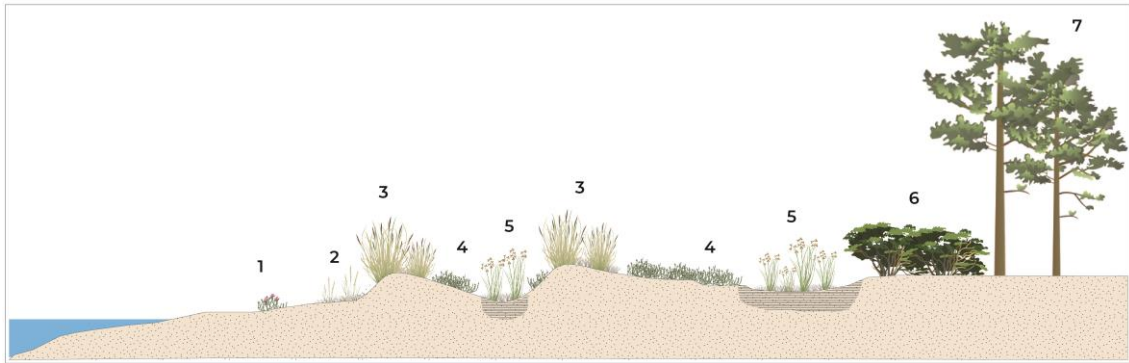


Figura 17. Zonificació dels perfils dunars a Catalunya
 Font: Modificat de Costa (1987), de de Bolòs (1967), i de Folch (1981)

Acosta et al. (2007) estudien sistemes litorals sorrenco molt similars als dels Catalunya (Costa del Lazio, Itàlia), i alerten que en moltes àrees litorals sorrenques la seqüència completa de comunitats vegetals de mar cap a terra no hi és present, malgrat tractar-se d'espais naturalitzats.

Malgrat que les espècies presents a platges i dunes tenen, en molts casos, rangs de distribució mundials (Hesp, 1991), moltes plantes estan estrictament vinculades als sistemes platja-duna. En l'àmbit català, Pintó et al. (2012; 2014) llisten un total de 37 espècies exclusives d'hàbitats dunars, moltes de distribució molt escassa i restringida en poques platges de Catalunya.

2.2. Sistemes platja-duna en costes humanitzades

Nordstrom (2000) estudia àmpliament els sistemes platja-duna de les costes humanitzades i alerta que aquests espais han estat alterats morfològicament, ecològicament i paisatgísticament des que els humans s'han constituït com a societat. El canvi de la cobertura vegetal a la conca hidrogràfica esdevé una de les accions més recalçables que des de ben antic han modelat els sistemes litorals sorrenco (Nordstrom, 1994, 2000, 2013). Històricament les actuacions de desforestació i aforestació han condicionat la retenció i el flux de sediment que arriba a la costa a través dels rius, fet que ha marcat el caràcter progradant o regressiu dels deltes i de les platges (Gracia et al., 2009; Postma, 1989; Rodríguez-Santalla & Somoza, 2019; Sánchez-García, Montoya-Montes, Casamayor, Alonso, & Rodríguez-Santalla, 2019; Valiela, 2006). Tot i l'acusada alteració antròpica de la costa, els espais litorals han experimentat un canvi accelerat al llarg del darrer segle. Aquesta alteració està directament vinculada al canvi ambiental global, tant pel que fa a la pressió antròpica derivada del canvi d'usos i cobertes del sòl (Nordstrom, 2000), com pel que respecte el canvi climàtic (Valiela, 2006).

En un context històric més recent, Nordstrom (1994) defineix els sistemes platja-duna humanitzats com a paisatges que han perdut el seu caràcter natural per esdevenir paisatges culturals a partir d'un seguit d'actuacions dutes a terme de manera individual, pels residents o visitants de la línia de mar, o col·lectiva mitjançant projectes de construcció de gran envergadura. Aquestes alteracions, sovint de caràcter irreversible (Nordstrom et al., 2011), fan que les platges humanitzades perdin les funcions d'ecosistemes naturals i presentin un aspecte semblant arreu.

Tot i que els sistemes sorrenco costaners de paisatges humanitzats no han estat estudiats en profunditat pels geomorfòlegs (Nordstrom, 2000), Nordstrom (2013) apunta que els edificis condicionen notablement les morfologies dunars en tant que condicionen el règim eòlic i alteren les zones naturals d'acreció i deflació sedimentària. També Alonso et al. (2002) analitzen la instal·lació de serveis damunt la zona litoral activa i afirmen que

aquestes construccions distorsionen la dinàmica eòlica creant deflació i morfologies erosives, com *blowouts*.

L'emplaçament de les dunes en paisatges humanitzats ve determinada per les preferències de la societat, més que pels processos eòlics, marins i vegetals responsables exclusius de la formació dunar en els sistemes naturals (Pilkey et al., 2011). La voluntat d'ocupació antròpica tan a prop del mar com sigui possible, juntament amb l'erosió de la costa, estan restringint cada vegada més l'espai que de forma natural seria donat a la zona litoral activa i als hàbitats corresponents (Defeo et al., 2009). D'aquesta manera, les dunes en costes humanitzades solen estar confinades entre la platja i un complex urbanístic o d'infraestructures de transport, convertint-se en dunes relictas (Figura 18). Així, les dunes presenten menys diversitat topogràfica i es situen més a prop del mar que en condicions naturals; presenten morfologies més lineals, estretes, baixes i interrompudes de forma periòdica per canals de deflació perpendiculars al cordó dunar a mode d'accés a la platja (Jackson & Nordstrom, 2011; Nordstrom, 1994, 2000, 2013).



Figura 18. Les dunes relictas del sector nord de la platja de Creixell (Tarragona) il·lustren el confinament dunar entre la platja i les edificacions en trams de costa urbanitzats. Sovint, l'emplaçament d'habitatges o passejos marítims situats a tocar dels cordons dunars, substitueixen una àmplia franja de rereduna que ha quedat relegada a unes poques platges del litoral català.

Data: abril de 2018

A Europa, la major part de costes presenten pressió antròpica ja que més d'un terç de la població es situa en els primers 50 quilòmetres de franja costanera, mentre que als països mediterranis aquest fet s'accentua sent un 85% de la població la que es situa al litoral (Heslenfeld, Jungerius, & Klijn, 2004). Curr et al. (2000) alerten que el 65% de les costes mediterrànies estan humanitzades, concentrant un 7 i un 16% de la població i la indústria mundials respectivament. Al conjunt de l'Estat espanyol, els 8.000 quilòmetres de franja litoral representen poc més del 4% del territori, on en els primers 5 quilòmetres de costa acull el 44% de la població (Prieto, Alfonso, Guadill, Santamarta, & Avellaner, 2014). La tendència de concentració poblacional al mar Mediterrani seguirà a l'alça influenciada sobretot pel creixement de la població, la immigració i el turisme, atraient al seu torn més activitats econòmiques i xarxa de transport. També a escala mundial, es preveu que pel 2020 l'aglomeració en els primers 60 quilòmetres de litoral ultrapassi el 75% de la població (Roberts & Hawkins, 1999). Segons Brown i McLachlan (2002), la concurrència de gent i usos a la costa en països desenvolupats està relacionada amb els valors estètics i recreatius del litoral; mentre que als països en vies de desenvolupament l'aflluència del litoral té més a veure amb la percepció que prop del mar és més fàcil l'obtenció de recursos alimentaris.

Nordstrom (2013) revisa les fases per les quals passen molts sistemes platja-duna en costes humanitzades dels països desenvolupats i descriu el procés en quatre episodis:

- 1 - Estadi natural (Figura 19 episodi 1)
- 2 - Construcció darrere el primer cordó dunar i degradació del sistema dunar (Figura 19 episodi 2)
- 3 - Desaparició de les dunes i disminució de l'amplada de platja (Figura 19 episodi 3)
- 4 - Renaturalització de la zona litoral activa (Figura 19 episodi 4).

Aquestes quatre fases il·lustren la degradació accentuada que sofreixen les platges urbanes, on s'eliminen completament les funcions naturals i de protecció associats a les dunes i es prioritzen les funcions recreatives d'aquests espais. Posteriorment, s'assisteix a un darrer període on es manifesta la voluntat de restauració dunar per recuperar les funcions de protecció i naturals associats als sistemes platja-duna.

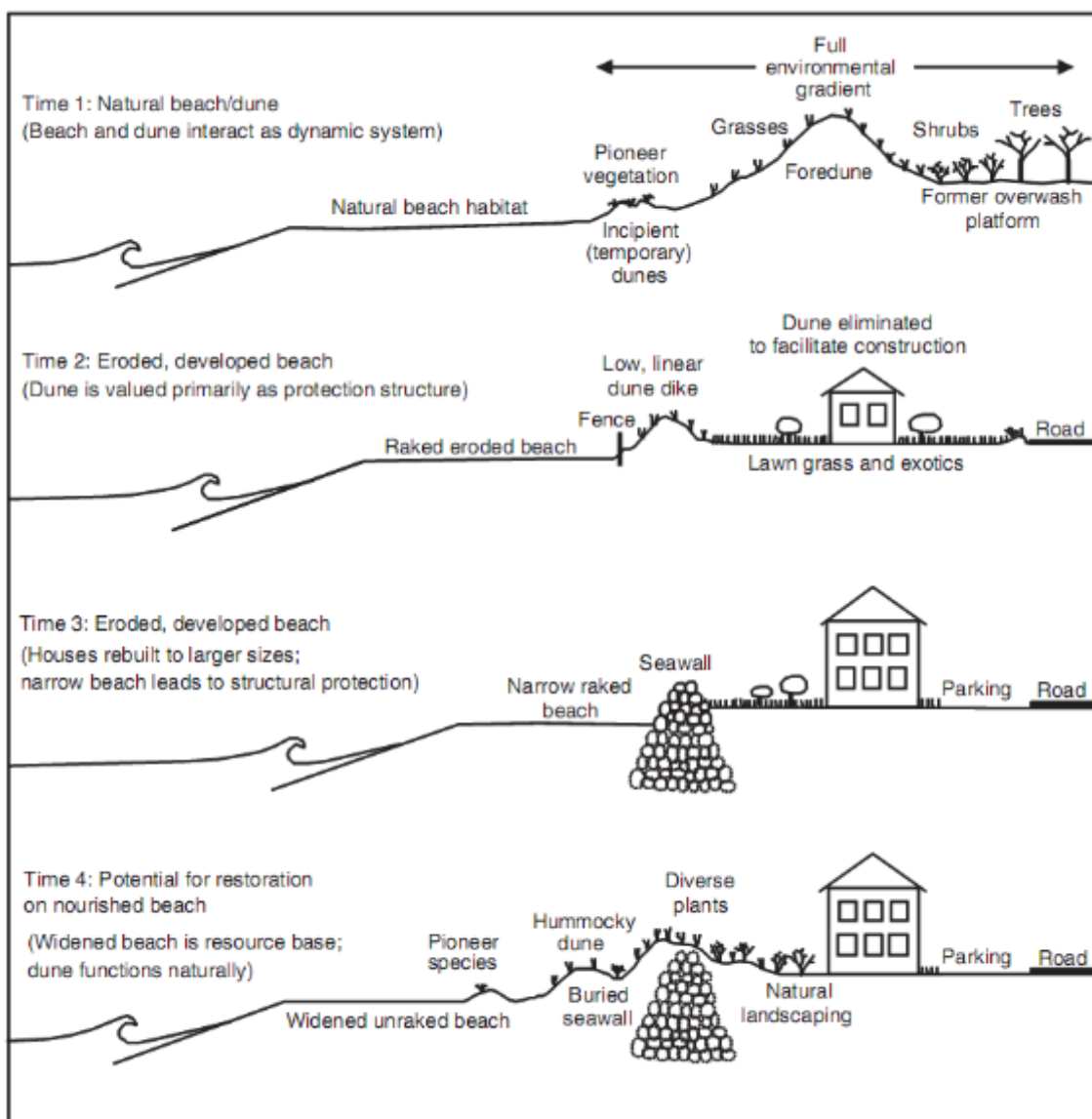


Figura 19. Fases d'evolució del sistema platja-duna en costes desenvolupades
Font: Nordstrom (2013)

Segons McLachlan i Defeo (2018b) la major part de costes baixes en paisatges humanitzats passen per quatre fases:

- 1 - Inici de la degradació dunar on l'estadi de naturalitat comença a perdre's per la freqüentació turística, sobretot pel trepig i la instal·lació de serveis temporals.
- 2 - Conversió de paisatge natural a paisatge cultural mitjançant la construcció d'habitats i infraestructures de protecció de la costa. Aquest estadi culmina amb la desaparició parcial del sistema platja-duna
- 3 - Regeneració de platges (*beach nourishment*) i recuperació de les funcions ecosistèmiques en la zona litoral activa.
- 4 - Creació artificial de platges i infraestructures litorals per mantenir la integritat de les dunes que actuen com a protecció dels bens situats immediatament després de les morfologies dunars.

Aquestes dues classificacions s'han de situar en un context estatunidenc (Nordstrom, 2013) i europeu (McLachlan & Defeo, 2018c) on les grans platges de costes baixes macro i mesomareals compten amb grans morfologies dunars que donen protecció als bens situats immediatament després de les dunes. Caldria doncs, una adaptació a les costes mediterrànies micromareals on les platges són més estretes i les dunes de menys entitat.

2.2.1. Degradació, perturbacions i amenaces de l'hàbitat dunar

En poques ocasions s'ha quantificat la superfície dunar exacta que ha desaparegut al llarg d'un període històric per manca de referències sobre l'estat previ a l'alteració paisatgística (Nordstrom, 1994). La falta de documents que constatin l'estadi previ a la degradació es deu sobretot al fet que els espais dunars no fossin profitosos econòmicament. Tot i això, i malgrat la divergència entre dades, alguns autors han aportat xifres sobre degradació dunar al continent europeu. Delbaere (1998) estimava que durant el segle XX el 25% de les dunes europees havien desaparegut i el 55% havien perdut el seu caràcter natural; mentre que Gallego-Fernández et al. (2003) i Ruocco et al. (2014) eleven la xifra de desaparició dunar en un 75 i un 70%, respectivament. Segons Salman i Kooijman (1998) la taxa de desaparició d'hàbitat dunar durant el darrer segle ha estat a raó de 30ha/any.

On sembla haver més acord és en l'afirmació que les dunes s'han degradat notablement en el darrer segle i en nombroses ocasions han desaparegut completament (Heslenfeld et al., 2004). També hi ha concert en que la totalitat de dunes romanents estan greument amenaçades per la pressió antròpica i pel canvi climàtic (Brown & McLachlan, 2002; Defeo et al., 2009; Janssen et al., 2016). La degradació i desaparició de dunes amenaça greument els hàbitats dunars (Defeo et al., 2009; del Vecchio, Slaviero, Fantinato, & Buffa, 2016; Janssen et al., 2016), fins el punt que la zonació típica de les comunitats vegetals de les dunes es troba tan sols present en una ínfima part dels sistemes dunars mediterranis (Acosta et al., 2007).

Els principals agents que amenacen i pertorben els sistemes litorals sorrenecs estan relacionats amb les activitats humanes (Brown & McLachlan, 2002; de Luca et al., 2011; Defeo et al., 2009; Gallego-Fernández et al., 2003; Gómez-Pina, Muñoz-Pérez, Ramírez, & Ley, 2002; McLachlan & Brown, 2006; Nordstrom, 2000), molt més que amb el canvi climàtic (Pilkey et al., 2011). Bird (1996) ja alertava que el 70% de les platges a nivell mundial tenen un caràcter erosiu vinculat sobretot a la regulació de cabals fluvials, l'alteració del transport longitudinal, l'increment de temporals ordinaris i extraordinaris a través dels episodis d'ones de tempesta (*storm surge*) i l'increment del nivell del mar (Brown & McLachlan, 2002).

Tot seguit s'insereix en cadascun dels processos que pertorben i amenacen el conjunt del sistema platja-duna recalcant-ne les principals implicacions i conseqüències sobre el sistema. L'augment de la població i concentració de les activitats humanes al litoral, la contaminació, la introducció d'espècies invasores, la pèrdua d'habitats, l'alteració del balanç i dels fluxos de sedimentaris, l'increment del nivell del mar i l'augment en la

freqüència de temporals són els principals agents de canvi (Houser & Ellis, 2013; Nordstrom, 2000; Valiela, 2006).

Fenòmens naturals

Un dels principals fenòmens que afecten els sistemes litorals sorrencs són els temporals de mar que arrasen bona part de la fauna de la platja emergida (Brown & McLachlan, 2002) i erosionen críticament les dunes incipients i la primera cresta dunar (Figura 20) (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010; Maun, 2009; van Der Meulen et al., 2004). Els efectes dels temporals són més dràstics contra més rígid sigui el sistema platja-duna: les costes humanitzades són més vulnerables i menys resilients que els trams de costa naturals (Peña-Alonso et al., 2017; Peña-Alonso et al., 2018) que tendeixen a renaturalitzar-se amb més rapidesa després dels episodis de pertorbació naturals.

Els efectes dels temporals depenen en gran mesura de la intensitat i de la duració del temporal, del tipus de sediment i la compactació del terreny i de la cobertura vegetal (Houser & Ellis, 2013). Hesp i Martínez (2007) defineixen 4 estadis segons la degradació del front dunar post-temporal: menor, moderat, sever i catastròfic. Aquests estadis inclouen des de temporals que tan sols han eliminat les dunes incipients sense erosionar el primer cordó dunar (estadi menor), fins la total desaparició del front dunar (catastròfic), passant per episodis d'escarpament dunar intermedis (moderat i sever).

Les morfologies *blowout* també es poden formar per fenòmens naturals a causa de la influència marina, de l'acció del vent on la cobertura vegetal hi és escassa o a causa d'un obstacle que iniciï la deflació, com un tronc a la deriva o unes branques mortes (Bird, 2008; Davidson-Arnott, 2010; Maun, 2009). Carter et al. (1990) estableixen 3 estadis o etapes pels *blowouts* iniciats de forma natural: inici de la deflació; transport del sediment a sotavent i escarpament continuat de les parets laterals; i estabilització i revegetació del *blowout*.



Figura 20. Escarpament de la *foredune* a la platja Llarga de Tarragona després d'un temporal de llevant
Data: maig de 2018

Els sistemes platja-duna naturals i humanitzats responen a les mateixes lleis físiques a les que estan sotmesos, però hi ha alguns factors ambientals que fan més vulnerables els sistemes humanitzats davant dels processos físics amb els quals interaccionen (Jackson & Nordstrom, 2011). La disponibilitat de sediment, la llibertat de moviment del sistema dunar terra endins, l'extensió total del complex dunar i l'estructura interna del sistema diferencien els sistemes naturals i els humanitzats, en tant que els humanitzats tenen menys resiliència davant els temporals marins que constantment afecten i pertorben la primera franja costanera (Pilkey et al., 2011). En condicions naturals les dunes migren terra

endins davant d'incrementos en el nivell del mar o en la freqüència de temporals, però les dunes en costes humanitzades estan confinades per construccions, fet que les converteix en altament vulnerables (Defeo et al., 2009; French, 2001).

Disminució del subministrament de sediments

El flux de sediment que arriba a les platges procedent dels rius pot variar en funció de la cobertura vegetal de la conca hidrogràfica (Douglas, 1990; Gracia et al., 2009; Postma, 1989; Rodríguez-Santalla & Somoza, 2019; Sánchez-García et al., 2019; Valiela, 2006), per les obres d'enginyeria destinades a emmagatzemar aigua i regular el cabal dels rius (Brown & McLachlan, 2002; Gracia et al., 2009; Maun, 2009; Valiela, 2006), així com per l'extracció d'àrid dels sistemes sorrencs costaners (Fabbri, 1990; Rovira, Batalla, & Sala, 2005; Yepes, 2002).

Per una banda, les actuacions històriques de desforestació i aforestació han condicionat el flux de sediment que arriba a la costa a través dels rius. A mesura que la població augmenta i l'explotació de la terra transforma els boscos per a aprofitaments forestals, pastures i cultius, s'incrementa el transport sedimentari a través dels rius i, de retruc, les dimensions dels sistemes arenosos costaners com platges i deltes (Guillén & Palanques, 1992; Maldonado, 1972; Palanques et al., 1990; Rodríguez-Santalla & Somoza, 2019; Sánchez-García et al., 2019). Douglas (1990) estimava que la tala d'arbres a les conques hidrogràfiques pot incrementar fins a 500 vegades la taxa d'erosió, fet que podria elevar fins a 8 vegades la quantitat de sediment que arrosseguen els rius.

Per altra banda, més recentment les activitats humanes han alterat el cabal del riu mitjançant la construcció d'embassaments, canals i transvasaments per abastir d'aigua els assentaments i les activitats humanes. Les obres hidràuliques d'emmagatzematge d'aigua retenen quasi la totalitat del sediment transportat pel riu (Valiela, 2006), i dificulten l'aprovisionament de sorres als deltes i platges. A més de la retenció de sediment, les barreres dels embassaments impedeixen les crescudes dels rius, fet que disminueix la capacitat de transport de sorres cap a les desembocadures (Sanjaume et al., 1996). Amb tot això, a les platges on el balanç sedimentari és negatiu la sensibilitat ambiental associada a l'erosió del sistema platja-duna és molt alta.

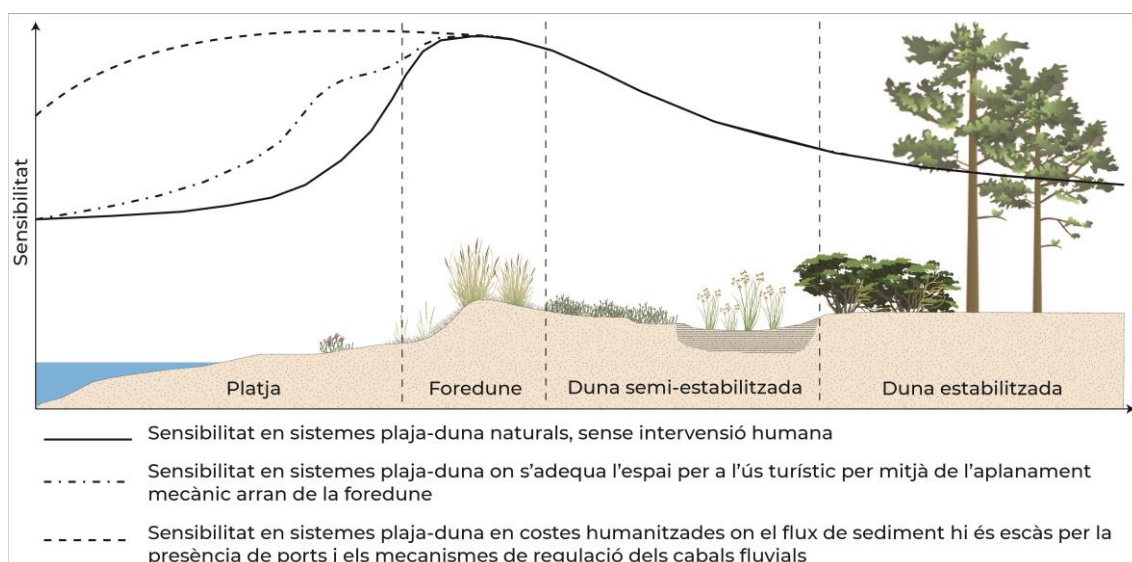


Figura 21. Corba de sensibilitat ambiental associada a l'erosió en diferents sistemes platja-duna

Font: Adaptat de McLachlan i Brown (2006) i de Roig-Munar, Martín-Prieto, Pintó, Rodríguez-Perea, i Gelabert (2019)

La Figura 21 il·lustra gràficament la corba de sensibilitat a l'erosió en diferents sistemes platja-duna. En platges naturals la *foredune* esdevé la unitat més sensible, mentre que en platges turístiques la línia de sensibilitat s'allarga fins bona part de la platja alta on les dunes incipients són pertorbades constantment per mitjà de l'aplanament mecànic arran de la *foredune*. En les costes humanitzades on el balanç sedimentari és negatiu a causa de les regulacions dels cursos fluvials i de les infraestructures litorals, la corba de sensibilitat s'estén al llarg de totes les unitats que componen el sistema platja-duna (Figura 21).

Pel cas del riu Ebre, situat a l'extrem sud de Catalunya, Palanques et al. (1990) xifrava la taxa de retenció sedimentària pels diferents embassaments al llarg de la conca en un 95%. El mateix estudi assenyalava que aquesta xifra disminuïa a un 73% si es tenia en compte només la retenció de les dues obres més importants, Mequinensa i Riba-Roja. En canvi, Dolz et al. (1997) elevaven aquesta dada al 99% només amb els dos pantans esmentats. En concordança amb aquest darrer estudi, pel cas del riu Nil, Stanley i Warne (1993) detectaren una elevada taxa de retenció sedimentària a la resclosa d'Assuan (98%). Així mateix, Milliman et al. (1984) estudien el cas del riu Indus i conclouen que el 99% de sediments són retinguts a la presa de Tarbela.

A banda del cas del riu Ebre, el coneixement sobre la retenció sedimentària dels embassaments de les conques internes a Catalunya és gairebé inexistent. L'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) ha encarregat recentment un estudi per millorar el coneixement sobre la retenció de sediments de les infraestructures de regulació de cabal de les conques internes de Catalunya (Generalitat de Catalunya, 2018). Els resultats d'aquest treball s'hauran de presentar a principis de l'any 2021 i analitzaran els la retenció de sediments i els processos morfodinàmics fluvials aigües avall d'aquestes infraestructures. L'objectiu de l'ACA és avaluar les implicacions d'aquests processos en la morfologia litoral i establir un conjunt de propostes de gestió dels sediments fluvials mitjançant l'alliberament de cabals als embassaments. També per combatre el problema de la retenció sedimentària a les infraestructures hidràuliques, (Gracia et al., 2009) proposen el dragatge dels sediments acumulats durant anys al fons dels embassaments i el posterior aprofitament per a la regeneració artificial de platges. Tan sols caldria un tractament de neteja i arrodoniment del material perquè quedés servible per a aquesta finalitat.

A més a més, l'extracció d'àrids dels cursos fluvials, pràctica totalment regulada actualment en "països desenvolupats", ha repercutit en la càrrega sedimentària que arriba a les platges. Les extraccions impliquen una reducció de la quantitat de sediment disponible, però també generen alteracions en la llera del riu ja que alenteixen la velocitat de l'aigua i en dificulten el transport de materials. En un context estatal, aquesta activitat, malgrat estar totalment prohibida en l'actualitat, va tenir un gran auge a partir dels anys 60 amb el desenvolupament urbanístic de ciutats i segones residències (Fabbri, 1990; Rovira et al., 2005; Yepes, 2002). A tot això, cal sumar el fet que l'abandonament de les activitats tradicionals de pastura i cultius, les quals impulsaven l'artigatge de boscos, ha derivat en una cobertura forestal densa que redueix significativament les taxes d'erosió dels vessants.

Finalment, la protecció dels penya-segats per estructures artificials disminueix l'erosió d'aquestes morfologies i, de retruc, decau la disponibilitat sedimentària dels sistemes sorrencs costaners (Brown & McLachlan, 2002).

Urbanització, turisme i recreació

Alguns estudis apunten que les activitats humanes relacionades amb el turisme són les principals responsables de modificar i eliminar els paisatges dunars (Alonso et al., 2002; Brown & McLachlan, 2002; Carter & Woodroffe, 1994; Curr et al., 2000; Defeo et al., 2009; Fabbri, 1990; Hernández-Cordero, Hernández-Calvento, Hesp, & Pérez-Chacón, 2018; Heslenfeld et al., 2004; Martínez & Psuty, 2004; McLachlan & Defeo, 2018c; Nordstrom, 1994, 2000; Pilkey et al., 2011; Roig-Munar, Martín-Prieto, Rodríguez-Perea, & Blázquez,

2018; Sytnik & Stecchi, 2014; Williams et al., 2011, 2012), així com d'amenaçar greument els sistemes dunars romanents (del Vecchio et al., 2016; Janssen et al., 2016).

L'apogeu del turisme de masses va tenir lloc després de la Segona Guerra Mundial coincidint amb les millores socioeconòmiques, com ara les vacances remunerades o la popularització de l'ús de l'automòbil. El vehicle motoritzat d'ús individual va propiciar l'explotació del territori mitjançant una allau de camins que facilitaria l'accés de visitants a llocs fins aleshores remots (Nordstrom, 2000; Pilkey et al., 2011; Yepes, 2002). Aquests dos factors van ser decisius per l'emplaçament de segones residències i complexos turístics a primera línia de mar, en localitzacions que fins aleshores tenien una economia eminentment tradicional (Williams et al., 2011). El fenomen turístic va suposar l'inici de la desnaturalització, artificialització i, fins i tot, desaparició de molts sistemes dunars, dels quals bona part han quedat danyats de manera irreversible (Nordstrom et al., 2011). La urbanització de l'extrem interior del sistema platja-duna, la realització de canals navegables o marines, la instal·lació de serveis i equipaments a la platja alta i les activitats d'oci i recreació són les principals causes de destrucció i alteració de l'hàbitat.

Molts sectors de costa han destruït les dunes en benefici de grans promocions residencials o complexos turístics, mentre que altres sectors, simplement han eliminat les morfologies dunars per proporcionar vistes al mar als turistes que cerquen gaudir de tots els beneficis de primera línia de mar des de casa (Carter & Woodroffe, 1994; Nordstrom, 2000). No menys important ha estat l'activitat extractiva d'arenas que també ha tingut una important repercussió en l'extinció de morfologies dunars. Les sorres fines resulten ser un material de construcció excel·lent que sovint s'ha utilitzat per satisfer la demanda dels creixements urbanístics de les àrees properes als sistemes dunars, (French, 2001; Marcos-Valiente, 1987; Pons & Garriga, 2016; Santana-Cordero et al., 2016).

En algunes costes baixes urbanitzades, les dunes no han estat completament eliminades pels assentaments humans, sinó que se n'ha reduït l'amplada i se n'ha conservat un cordó dunar estret i rectilini paral·lel als habitatges (Figura 22). En aquests casos, les conseqüències també són notables pel que fa a l'alteració de la morfodinàmica natural de la zona litoral activa. La pressió urbanística limita l'emplaçament natural de les dunes, fet que restringeix l'espai de regeneració natural de les platges en episodis de temporals i n'accelera l'erosió (Bird, 2008; McLachlan & Defeo, 2018a; Sytnik & Stecchi, 2014).

És en aquest punt on més s'escau d'introduir el concepte de costa *rígida* o *rigidització* de la costa. La rigidesa de la costa es refereix a la mesura en què el sistema platja-duna es pot desplaçar cap a l'interior en possibles escenaris d'erosió de la costa. Es consideren sistemes molt rígids aquells que no tenen cap possibilitat de moure's en bloc cap a l'interior a causa de la presència d'elements o barreres situats a l'interior de la platja, com ara les roques o penya-segats, en costes rocoses, o les edificacions i infraestructures, en costes urbanitzades. Per contra, es consideren poc rígids els sistemes litorals sorrencs a l'interior dels quals hi manquen obstacles que dificultin l'avenç de la platja terra endins, com ara les brolles, els cultius sense motes de protecció i, en menor mesura, els boscos. La topografia de l'espai i la densitat de la cobertura vegetal de l'entorn de la platja són factors que condicionen la rigidesa dels sistemes platja-duna. Aquest fenomen és especialment rellevant alhora de determinar la resiliència dels sistemes dunars en platges regressives, ja que la seva permanència o eradicació depèn directament de l'espai disponible al seu extrem interior.



Figura 22. Cordó dunar efimer confinat entre la platja i la urbanització a la platja de Berà (Tarragona). L'emplaçament original d'aquesta morfologia dunar no es situava tan a prop del mar com s'observa a la imatge, sinó que la regressió de la línia de la costa ha acostat la ribera de mar al front dunar. Aquest escenari d'erosió de la costa amenaça la perdurabilitat del sistema dunar davant l'impracticable avenç de les dunes terra endins a causa de l'elevada rigidesa que presenta la platja.

Data: maig de 2018

A banda del procés urbanitzador, l'elevat flux d'usuaris, que sovint circulen sense cap mena de regulació, ha estat el principal causant de degradació d'hàbitat dunar. El trepig, la freqüentació dels usuaris i la preparació de la platja per a l'ús turístic són un element clau en la degradació dunar ja que n'altera la dinàmica funcional i ecosistèmica (Brown & McLachlan, 2002; Curr et al., 2000; de Luca et al., 2011; Defeo et al., 2009; Nordstrom, 2000; Nordstrom et al., 2011; Perry & D' Miel, 1995). Les conseqüències més evidents derivades de l'elevada freqüentació són l'alteració de la flora i fauna, la compactació del sòl i l'erosió per eliminació de cobertura vegetal i obertura de corriols, originant erosió de les formes dunars.

Pel que fa la fauna, els hàbitats dunars són espais crítics per la nidació d'ocells i tortugues arreu del món, que es veuen altament destorbats per les activitats relacionades amb el turisme (Defeo et al., 2009; Gracia et al., 2009). La degradació i destrucció de l'hàbitat d'espècies es tradueix en alteracions de la fauna que van des dels canvis de patrons espacials i temporals de les postes a l'abandonament de cries al néixer, el que es tradueix en una major mortalitat de les cries i, per tant, una reducció significativa de la població (Brown & McLachlan, 2002; Perry & D' Miel, 1995; van Aarde, Wassenaar, Niemand, Knowles, & Ferreira, 2004).

Pel que fa la flora, la zonació de comunitats i la composició vegetal es veu fortament influenciada pel trepig i la neteja mecànica de platges (Attorre et al., 2013; Daniela Ciccarelli & Bacaro, 2016; de Luca et al., 2011; del Vecchio et al., 2016; Ruocco et al., 2014). Algunes espècies vulnerables desapareixen davant la concurrència d'usuaris i dels diferents usos (McLachlan & Defeo, 2018c), mentre que l'abradió mecànica inicia morfologies erosives o *blowouts* que desestabilitzen les morfologies dunars i desequilibren els balanços sedimentaris que tenen lloc dins la zona litoral activa (Davidson-Arnott, 2010; Hesp, 2002; Maun, 2009; Nordstrom, 2013).

En relació a la preparació de la platja per a l'ús turístic, Carter i Woodroffe (1994) recorden que la major part de ressorts turístics compten amb platges molt amples on les dunes han estat aplanades per facilitar les vistes al mar i augmentar la superfície de platja disponible pels usuaris. A més, en moltes parts del món s'han transformat les dunes semi-

estabilitzades en camps de golf que es presenten com a una activitat de platja alternativa als banys de mar (Bird, 2008; French, 2001; Gracia et al., 2009).

L'anivellament i neteja mecànica de les platges suposa una alteració tant des del punt de vista morfològic del perfil platja-duna com des del punt de vista biològic (Figura 23). L'acció mecànica no només implica la retirada de deixalles, sinó que també suposa l'eliminació involuntària de propàguls de vegetació dunar i organismes morts a la deriva, així com la mort d'organismes per aixafament (Brown & McLachlan, 2002; Defeo et al., 2009; McLachlan & Defeo, 2018c; Nordstrom, 2000). La població d'ocells també es veu afectada per la disminució d'aliment disponible a la platja, i per l'esclafament d'ous o la mort dels polls més joves. Les postes de tortugues també es veurien afectades pel mateix impacte mecànic.



Figura 23. Neteja mecànica arran de la *foredune* a la platja de la Rovina (Castelló d'Empúries, Girona). Les morfologies dunars embrionàries que es formen a la platja alta són eradicades sistemàticament per acció de la maquinària pesada quan s'efectuen les tasques de neteja i anivellament del substrat sorrenc.

Data: juliol de 2018

La morfologia de la platja també queda alterada amb l'aplanament de la platja seca al disminuir la rugositat natural de la platja alta i augmentar la superfície en contacte amb l'acció erosiva del vent. També, s'eliminen les dunes incipients situades al peu de la duna frontal i s'impedeix la formació de noves morfologies dunar. Fins i tot, es descalça el talús dunar alterant el perfil platja-duna (Figura 21) i l'intercanvi de sediment a la zona litoral activa (Roig-Munar, 2004), alterant la corba de sensibilitat ambiental del sistema (Roig-Munar, Martín-Prieto, et al., 2019). Pilkey et al. (2011) relacionen la neteja mecànica diària amb la pèrdua d'alçada de les platges i, per tant, amb l'erosió general del sistema.

Les facilitats d'accés a la platja amb vehicles motoritzats per mitjà de camins i aparcaments damunt les dunes també són un element de destrucció dunar molt habitual a les platges turístiques (Brown & McLachlan, 2002; Roig-Munar et al., 2006, 2012). Els accessos sense regular des de l'aparcament a les platges fragmenten i degraden els espais dunars per on hi circulen milers d'usuaris l'any per accedir a la platja (Curr et al., 2000; Roig-Munar, Rodriguez-Perea, Martín-Prieto, & Pons, 2009).

També les accions de regeneració artificial de platges (*nourishment*) són una opció àmpliament utilitzada i acceptada arreu del món, però que pot tenir efectes negatius sobre els hàbitats del sistema platja-duna i de les zones submergides (Nordstrom, 2000). Aquestes accions impliquen l'abocament directe i massiu de quantitat ingents de sorra destinats a contrarestar l'erosió marina o augmentar la superfície de platja destinada als

usos recreatius. Molts organismes, que tenen el seu hàbitat al sistema platja-duna, són letalment enterrats fins al punt de disminuir notablement la diversitat biològica dels espais regenerats (Defeo et al., 2009). A més, les característiques de la nova sorra són substancialment diferents a la originària, fet que altera notablement les taxes de transport de sediment, d'humitat i, per tant, el perfil platja-duna en el seu conjunt (Nordstrom, 2013), convertint-se en platges més susceptibles a l'erosió marina. Tanmateix, els efectes del dragatge amb finalitats de regeneració de platges, que sovint tenen el seu origen a pocs metres de les platges, desestabilitzen el flux de sediment i la biodiversitat de la zona. Sardá et al. (2000) van trobar que després del dragat de la zona del delta de la Tordera, els nivells de biodiversitat van disminuir notablement i les sorres que arribaven a les platges eren més gruixudes ençà de les extraccions. A tot això cal sumar el fet que les noves sorres dipositades a les platges poden contenir propàguls de vegetació halòfila i alterar la vegetació dunar (McLachlan & Defeo, 2018c).

Finalment, convé esmentar el gruix de materials que els usuaris abandonen a les platges temporada rere temporada. Aquestes brosses de diverses naturaleses i dimensions queden retinguda entre la vegetació dunar, contaminant-ne l'espai i alterant-ne els valors estètics i paisatgístics.

Espècies invasores

Segons Janssen et al. (2016) les espècies invasores són una de les principals amenaces a les quals han de fer front els hàbitats costaners després de la urbanització, l'explotació de recursos i les activitats d'oci relacionades amb el turisme. Aquesta introducció té un vector antròpic i inclouria les invasions biològiques tant florístiques com faunístiques d'ambients terrestres i marins (Brown & McLachlan, 2002; Defeo et al., 2009).

Pel que fa les espècies invasores vegetals, sovint s'han utilitzat per fixar dunes mòbils, però més recentment moltes de les espècies que amenacen d'envair l'espai dunar s'han estès des dels jardins propers a les platges (Grunewald & Schubert, 2007; Padullés, Vila, & Barriocanal, 2015; Pilkey et al., 2011). La invasió d'espècies es dona irregularment al llarg de les diferents zones vegetals que conformen les dunes, sent els ambients limítrofs amb àrees urbanes els llocs més freqüentats per espècies invasores (Carboni, Santoro, & Acosta, 2010; González-Moreno, Pino, Cózar, García de Lomas, & Vilà, 2014). Això es deu a la proximitat amb els nuclis emissors, així com també s'explica perquè aquests ambients presenten condicions ambientals menys estressants per la colonització vegetal que els ambients de primera línia de mar (Pino et al., 2006). En nombroses ocasions, l'àrea de recobriment vegetal de les espècies invasores supera de llarg la cobertura d'espècies pròpies d'ambients dunars (Castillo & Moreno-Casasola, 1996). Les plantes invasores són les principals responsables d'alterar l'ecosistema, la morfologia i el paisatge dunar. En primer lloc, les arrels de les plantes adaptades a l'enterrament faciliten el creixement dunar i la mobilitat de les dunes, mentre que les plantes invasores, en general mancades d'aquesta habilitat, aplanen la superfície dunar i restringeixen la mobilitat del relleu. En el cas específic del *Carpobrotus edulis* els relleus dunars queden fixats i la planta invasora no permet guanys sedimentaris ni mobilitat del substrat (Figura 24).



Figura 24. Presència de *Carpobrotus edulis* al sistema dunar davant de la platja del Cortal de la Devesa (Sant Pere Pescador, Girona). La *foredune* està colonitzada quasi exclusivament per aquesta espècie invasora que en monopolitza el paisatge i la diversitat vegetal i impedeix l'activació eòlica dels ambients dunars.

Data: octubre de 2018

En segon lloc, les plantes invasores disminueixen la biodiversitat, alteren les funcions dels hàbitats i interfereixen en el procés de la zonació natural d'ambients a causa de l'extensió monoespecífica de la invasió. En tercer i darrer lloc, les invasions d'espècies canvien l'aparença general del paisatge dunar restant valor per als usos recreatius i de conservació (del Vecchio et al., 2016; Lubke, 2004; Malavasi, Santoro, Cutini, Acosta, & Carranza, 2016; Martínez & García-Franco, 2004; McLachlan & Defeo, 2018c; Nordstrom, 1994; Panareda & Pintó, 2015).

Cal ressaltar que les espècies invasores poden disminuir la biodiversitat i alterar el paisatge, però no sempre és així. Les espècies invasores tenen més impactes en les comunitats natives si les plantes exòtiques pertanyen al mateix grup funcional que les autòctones (de la Riva, Godoy, Castro-Díez, Gutiérrez-Cánovas, & Vilà, 2019). En aquest cas, les estratègies d'adaptació de les espècies invasores no interfereixen tant amb les de les natives i, en conseqüència, no en perjudiquen tant estructura ecològica.

Nordstrom (1994) llista les principals espècies invasores d'ambients dunars mòbils que s'han introduït amb la finalitat de fixar les dunes a Europa, Austràlia i Nord Amèrica: a Estats Units destaca la introducció de *Phragmites australis*, *Ammophila arenaria* i *Carex cobomugz*, provinents del continent euroasiàtic; a Austràlia s'hi ha introduït principalment *Ammophila arenaria* provinent d'Europa i *Chrysanthemoides monilifera* provinent d'Àfrica. Van der Maarel (1993a, 1993b) alerta que la introducció d'*Ammophila arenaria* al continent australià va perjudicar àmpliament la distribució de les herbàcies dunars natives *Desmoschoenus spiralis*, *Festuca littoralis*, *Spinifex hirsutus* i *Aceana novae-zelandiae*, de la mateixa manera que va passar amb l'*Ammophila breviligulata* al subcontinent nord-americà.

En un context més proper, Gracia et al. (2009) assenyalen el *Carpobrotus sp* com l'espècie que més danys ecològics i morfològics ha causat en sistemes dunars espanyols. Aquesta planta d'origen sud-africà s'ha utilitzat per fixar dunes mòbils, però en la majoria dels casos s'ha estès fortuïtament des dels jardins propers a les platges. Aquests autors també ressalten la presència d'altres exòtiques invasores en ambients dunars espanyols, com la *Oenothera sp*, la *Disphyma crassifolia*, la *Cortaderia selloana* o l'*Agave americana*, que perjudiquen la riquesa vegetal, el dinamisme morfològic i l'aspecte paisatgístic. Així mateix, Pintó, Garcia-Lozano i Roig-Munar (2018) apunten que la principal espècie invasora a Catalunya és *Carpobrotus edulis* que crea un recobriment extens i continu de la superfície

dunar que impedeix el desenvolupament de les plantes estrictament vinculades a espais dunars. També a escala catalana trobem molt freqüentment altres espècies invasores com *Xanthium echinatum subsp. italicum*, *Arctotheca calendula*, *Cuscuta campestris*, *Oenothera glazioviana* o *Panicum repens*.

Alteració del transport longitudinal

La construcció d'infraestructures paral·leles i perpendiculars a la costa alteren la distribució de sediments a escala local en diferents trams de costa. L'emplaçament de ports, espigons, marines, esculleres, embarcadors, marines o dics tenen per objectiu frenar l'erosió i protegir dels temporals la propietat privada situada prop de la primera línia de mar. Certament, aquest conjunt d'estructures combaten l'erosió en certes parts però l'acceleren en altres (Brown & McLachlan, 2002; Carter & Woodroffe, 1994; Valiela, 2006). Les construccions de protecció del litoral afecten el sistema hidrodinàmic natural d'onades i corrents, creant refracció de les onades i alterant les taxes de transport de sediment que controlen els mecanismes d'erosió i acreció de les platges (Hsu, Lin, & Tseng, 2007; Sherman, Bauer, Nordstrom, & Allen, 1990). El bloqueig del transport sedimentari longitudinal crea diferències en l'amplada de les platges amb processos d'acreció a la cara que rep la corrent de deriva (*updrift side*), i processos de regressió a la cara protegida del corrent longitudinal (*downdrift side*) (Figura 25).

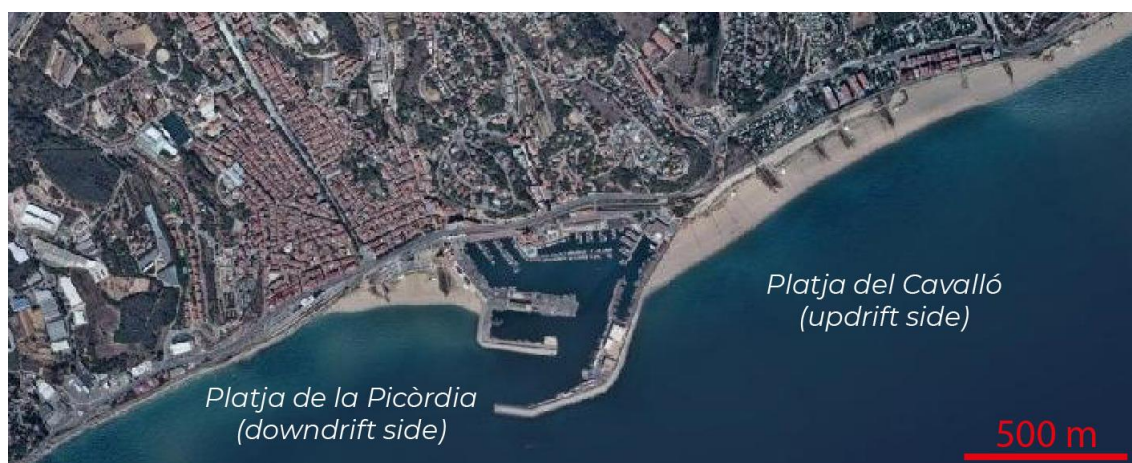


Figura 25. Alteració del transport longitudinal de sediments pel port d'Arenys de Mar (Barcelona). Els processos d'acreció són evidents a la cara que rep la corrent de deriva (*updrift side*), mentre que els processos de regressió s'evidencien clarament a la cara protegida del corrent longitudinal (*downdrift side*).

Font: ICGC (2018)

La funció de protecció només és efectiva a la cara que rep la corrent de deriva, mentre que l'altre cantó de l'estructura està més exposat a l'erosió que abans de construir l'obra d'enginyeria (Nordstrom, 1994). A més, l'alteració de les corrents forma dipòsits de sediment a la platja submergida aigües avall de l'espigó, generant complexes topografies a la platja submergida (Nordstrom, 2013). Pel que fa les dunes, també pot afectar el transport eòlic terra endins al tractar-se, en ocasions, d'una pantalla d'interferència eòlica i per retenir sediment de platja susceptible a incorporar-se al sistema dunar. En aquest sentit, Brown i McLachlan (2002) identifiquen aquest fenomen com una de les principals amenaces en costes humanitzades.

Segons Gracia et al. (2009) les infraestructures paral·leles a la costa originen les alteracions més significatives en la primera línia de mar. Les construccions paral·leles en un principi no generen alteracions en el transport longitudinal tan notoris com les anteriors. Però amb el

temps la refracció de les onades indueix la formació d'una barra de sediments en forma de tómbol entre l'estructura i la costa. A partir d'aquest moment, la corrent de deriva també es veu interrompuda per la barra de sorra que actua a tots els efectes sobre el flux sedimentari com una estructura perpendicular. Alguns autors proposen el dragat permanent aigües amunt i aigües avall de l'estructura (Gracia et al., 2009), així com la regeneració artificial de platges en les zones que pateixen erosió (Nordstrom, 2000). En un context mediterrani, Gracia et al. (2009) proposen l'alternativa d'elements dissipadors d'energia que substitueixen els espigons emergits. Es tracta d'estructures rígides submergides a poca profunditat que actuen absorbint l'energia de les onades de manera similar que les praderies de *Posidonia oceanica* fan de forma natural al Mediterrani.

Fixació de dunes

L'estabilització de les dunes mòbils per mitjà d'arbres ha estat una pràctica molt utilitzada per evitar el moviment de sorres terra endins (Dean & Dalrymple, 2004; Klijn, 1990; Nordstrom, 2000; van Der Meulen & Salman, 1996) i protegir els camps de conreu dels forts vents marins i de l'entrada de l'arena (Nordstrom, 2013). La primera gran operació d'aforestació dunar es va dur a terme a finals del segle XVIII a les Landes de la Gascona (Brémontier, 1797) per evitar que els grans sorrals de dunes transgressives envaïssin les terres del sud-oest de França (Figura 26).



Figura 26. Dunes fixades amb pins a les landes de la Gascona, sud-oest de França a principis del segle XX (autor desconegut)

Font: «Landes en Vrac» (2019)

Aquesta activitat té efectes severos en la dinàmica eòlica i el moviment de sorres ja que immobilitza el que eren dunes mòbils per convertir-les en dunes estables (Brown & McLachlan, 2002; Kooijman, 2004). Sovint, l'aforestació es duu a terme amb plantes al·lòctones que empobreixen la riquesa vegetal de la zona (French, 2001; Gracia et al., 2009). A la península Ibèrica l'estabilització dunar s'ha dut a terme principalment amb *Pinus pinea* (van Der Meulen & Salman, 1996), fet que també ha alterat notablement la flora pròpia de les dunes mòbils (Nordstrom, 2000; Wiedemann & Pickart, 2004), així com la disminució del nivell freàtic a causa de l'augment de la transpiració (Martínez & García-Franco, 2004; Nordstrom, 2013). Destaquen, a la Península, l'estabilització de les dunes interior dels massissos del Montgrí i Begur (Figura 27), a l'Empordà (de Ferrer, 1895), i les dunes de Guardamar de Segura (Mira, 1907).



Figura 27. Dunes interiors del massís del Montgrí, fixades amb pins a finals del segle XIX. Disposició nord-sud, al fons de la imatge, el promontori de Roca Maura i, darrera seu, el nucli urbà de l'Estàrit

Data: març de 2019 (fotografia cedida per David Pavón)

Heslenfeld et al. (2004) ressaltava que a escala europea les dunes mòbils són més sostenibles que les dunes fixades ja que són més resistents als processos erosius, són més barates de mantenir i tenen més valors naturals i estètics que els boscos monoespècífics propis de les fixacions dunars. A escala mundial s'estan empenent tasques de rehabilitació de dunes mòbils mitjançant tasques de desforestació (van Aarde et al., 2004).

Activitats agràries

El principal problema que comporten les activitats agràries és la pèrdua d'habitat dunar per l'emplaçament de camps de conreu (French, 2001; Heslenfeld et al., 2004; Nordstrom, 1994; Valiela, 2006). Tot i això, l'antiga pràctica d'utilitzar els materials sedimentaris per a curullar zones humides i transformar-les en terrenys conreables suposà l'extracció de molts metres cúbics des dels platges terra endins (French, 2001; Pardo, 1991).

En un segon ordre d'impactes, les activitats agràries també perjudiquen el desenvolupament natural de les dunes, o bé en degraden indirectament el seu estat. En aquest sentit, la irrigació de cultius mitjançant la canalització d'aigua en el tram mitjà del riu disminueix el cabal i l'aportació sedimentària (Brown & McLachlan, 2002), mentre que la sobreexplotació dels aqüífers en zones properes al mar disminueix el cabal en el tram baix dels rius i redueix l'aportació de sediments a les platges.

En altres països europeus i nord americans les pastures de bestiar oví i boví són molt freqüents en ambients dunars on compacten el sòl i alteren la composició química i vegetal, així com fomenten la iniciació de *blowouts* (Bird, 2008). Aquesta problemàtica, però no hi és present a les costes catalanes, on les superfícies dunars són de petita entitat i no alberguen cobertes vegetals frondoses aptes per alimentar el bestiar.

Malgrat no tenir una relació directa amb les activitats agràries, val la pena apuntar que també espècies com els conills suposen un impacte notable en la vegetació i la morfologia dunar en determinades regions on la població ha incrementat exponencialment en les darreres dècades, com el nord d'Europa (McLachlan & Brown, 2006).

Canvi climàtic

L'escalfament global és avui dia un fenomen acceptat i reconegut des d'un punt de vista científic arreu del món. Les causes estan directament vinculades amb l'acció antròpica i, particularment, amb l'emissió de gasos d'efecte hivernacle, entre els que destaca el diòxid de carboni. Malgrat que els efectes del canvi climàtic han estat palesos al llarg del segle XX

(IPCC, 1995), no ha estat fins les darreres dècades que aquest tema ha pres rellevància entre els temes d'interès per a la investigació científica. A grans trets, l'ascens general de la temperatura comportaria l'increment del volum ocupat pels oceans, el desgel de les glaceres, canvis en la circulació oceànica, l'augment de la temperatura marina en superfície així com de la intensitat dels vents marins (*onshore winds*). Aquests fenòmens, per una banda, farien creixer el nivell del mar, mentre que per altra banda, implicarien una major recurrència i intensitat dels temporals de mar que afectaria les zones de platja-duna.

El guany de temperatura suposaria un canvi notable en els ecosistemes costaners (Miller, 2015), sobretot perquè haurien de desplaçar-se a latituds més altes per cercar les mateixes condicions ambientals (Defeo et al., 2009; Maun, 2009). Tot i això, aquest efecte seria relativament modest a la zona de *foredune* on la vegetació ja està adaptada a altes temperatures i a la poca humitat (Davidson-Arnott, 2010). També l'ascens de la temperatura afavorirà una major aridesa en els ambients sorrencs costaners. La disminució de la humitat portarà associada la reducció de la cobertura vegetal, fet que podria traduir-se en un increment de l'erosió dunar o en l'activació de *blowouts* (Bird, 2008; Maun, 2009). A banda d'això, l'acidificació dels oceans, causada per l'absorció del CO₂, pot alterar l'estructura dels sistemes litorals sorrencs ja que disminuirà l'arribada d'organismes calcificats que avui dia conformen bona part del substrat sorrenc i són fonamentals per l'estructura ecosistèmica (IPCC, 2007, 2013).

Pel que fa la pujada del nivell del mar, al llarg del darrer segle es va constatar un augment mitjà d'entre 20 i 25 centímetres (IPCC, 1995) i la tendència apunta a un increment accelerat d'aquesta xifra per finals del segle actual (IPCC, 2013). Les projeccions més pessimistes sobre l'increment del nivell del mar segons l'IPCC (2007) apuntaven que a finals de segle XXI el mar podia pujar fins aproximadament 60 centímetres de mitjana (Taula 3) respecte els nivells que presentava durant el període 1980-1999. Pel cas del Mediterrani això suposaria un augment més modest, d'entre 15 i 20 centímetres. Aquesta xifra varia substancialment si s'agafa de referència l'escenari més optimista del mateix informe (Taula 3) segons el qual aquest augment hauria de ser d'entre 18 i 38 cm. Encara més alarmants són les taxes d'increment del nivell del mar segons les conclusions a les que arriba el darrer informe de l'IPCC (IPCC, 2013) que eleva fins a 82 centímetres de mitjana l'ascens del nivell del mar si es compleixen les projeccions més pessimistes (Taula 3). Tres anys més tard d'aquesta publicació, de Conto i Pollard (2016) també alarmaven sobre l'ascens del nivell del mar que xifraven en més d'un metre per l'any 2100 a causa del desgel dels pols.

Taula 3. Projeccions d'augment del nivell del mar per el 2100. Les xifres representen l'augment mitjà a escala planetària.

Font: IPCC (2007, 2013)

	Escenari optimista	Escenari pessimista
IPCC, 2007	18-38 cm	26-56 cm
IPCC, 2013	26-55 cm	45-82 cm

Per contra, recentment Edwards et al. (2019) i Golledge et al. (2019) redueixen a uns pocs centímetres (15 i 25 respectivament) les projeccions d'augment de nivell del mar. Aquests estudis afirmen que el desgel derivat de l'escalfament global tindrà més efectes al clima que no a la pujada del nivell del mar, com alguns estudis han previst fins ara (de Conto & Pollard, 2016; IPCC, 2013). Tot i això, convé ressaltar que un increment del nivell del mar d'aproximadament 50 centímetres suposaria la desaparició del 50% del delta de l'Ebre (Sánchez-García et al., 2019).

Segons Davidson-Arnott (2010) els sistemes dunars costaners es veuran més afectats per l'increment de la freqüència i la intensitat dels temporals marins que per la pujada del nivell del mar. L'erosió en episodis de temporal és molt severa i implica retrocés de les platges, escarpament dunar i pèrdua de vegetació. L'increment en la freqüència dels temporals disminueix el temps de regeneració natural de la *foredune*, tant pel que fa a l'acumulació de sorra erosionada per les onades, tant pel que fa al creixement vegetal al peu de la duna. A això cal sumar el fet que en l'actualitat els sistemes costaners sofreixen dèficit sedimentari, aspecte que agreuja el problema de la regeneració natural del perfil dunar. Gracia et al. (2009) afegeixen que durant els moments de calma, quan té lloc la regeneració natural de la duna, el perfil dunar no es pot regenerar perquè els intensos temporals s'enduen el sediment erosionat a espais massa profunds de la platja submergida. A més, algunes costes dissipatives pateixen el problema afegit de les ones de temporal o *storm surge*. Aquest fenomen es dona en condicions de grans tempestes quan les baixes pressions associades als episodis de temporal provoquen un ascens del nivell del mar. A més, els *onshore winds* empenyen el mar cap a terra i fan pujar encara més el nivell del mar. Durant aquests episodis, les zones properes a la costa sofreixen inundacions d'aigua marina que neguen superfícies que es troben per sobre del nivell del mar.

Amb tot plegat, el resultat seria l'escarpament generalitzat del front dunar que entraria en una dinàmica regressiva difícil de revertir (Brown & McLachlan, 2002). La manera natural d'adaptació a l'erosió marina és el desplaçament en bloc del sistema platja-duna cap a terra. Aquest fenomen, però, és insociable amb platges humanitzades que estan confinades entre la urbanització i les dinàmiques erosives per efecte del mar (Defeo et al., 2009; Heslenfeld et al., 2004; Houser & Ellis, 2013; McLachlan & Defeo, 2018a). Les platges dissipatives d'alts rangs mareals són més susceptibles a l'erosió causada per tots els fenòmens anteriorment esmentats, que no pas les platges reflexives de més pendent i amb petits rangs mareals. Tot i això, recentment les costes del nord-oest de la mediterrània han experimentat temporals marins que han causat efectes severos en els sistemes naturals i notòries pèrdues socioeconòmiques (Jiménez, Sanuy, Ballesteros, & Valdemoro, 2018; Sanuy, Duo, Jäger, Ciavola, & Jiménez, 2018).

Malgrat l'evidència dels impactes del canvi climàtic a les platges, McLachlan i Defeo (2018a) adverteixen que manquen estudis de llarg termini que determinin la resposta de les platges als efectes del canvi climàtic.

2.2.2. Gestió del sistema platja-duna

A Espanya, la major part dels turistes s'allotgen en destinacions de costa: més del 80% dels visitants internacionals i més del 50% dels nacionals (IET, 2013). Des del 2010, el creixement del sector turístic dins del PIB espanyol està per sobre del conjunt de l'economia, sent des de llavors, el principal impulsor econòmic i assolint els seus màxims nivells de participació el 2018 amb un 11,8% (EXCELTUR, 2019).

En costes humanitzades, la gestió de platges està enfocada a potenciar l'experiència recreativa dels usuaris, més que a assegurar la coexistència de les diferents funcions del sistema platja-duna: recreativa, de protecció i naturals (Ariza, 2011; Ariza et al., 2010; Lozoya et al., 2014; Williams & Micallef, 2009; Yepes, 2002). Aquest enfocament obsessiu i desproporcionat ha derivat en una degradació i desaparició generalitzada del sistema i dels seus valors morfològics, estètics i paisatgístics (Ariza, Jiménez, & Sardá, 2008; Fabbri, 1990; Jiménez et al., 2005; Roig-Munar, Pintó, Martín-Prieto, & Rodríguez-Perea, 1987; Roig-Munar et al., 2012; Valls et al., 2017; Williams & Micallef, 2009). A més, les actuacions antròpiques a la platja estan orientades a immobilitzar a curt i mitjà termini el sistema platja-duna per tal d'evitar el seu avanç terra endins i evitar la fuga de material sedimentari al llarg de la costa (Nordstrom, 2000, 2013). Però a llarg termini, la rigidesa del sistema acaba erosionant encara més la platja i l'aboca a la regeneració artificial sistemàtica per a la seva subsistència.

Davant les notòries accions humanes i naturals que degraden i amenacen els sistemes litorals sorrencs, una de les mesures més àmpliament adoptades és la construcció de grans obres d'enginyeria per contrarestar l'erosió marina i protegir el litoral (Benassai, 2006; Brebbia, Benassai, & Rodríguez, 2009). Al marge dels espigons i trencaonades, també es construeixen estructures destinades a satisfer les necessitats d'oci com ara marines o ports esportius. Aquestes infraestructures, tal i com s'ha recalcat amb anterioritat, alteren el transport de sediment longitudinal i provoquen greus efectes erosius en diferents punts del litoral. El problema és que les platges que experimentaven pèrdues sedimentaries ara no en presenten gràcies als espigons, però aquelles que rebien flux sedimentari ara tenen problemes per manca de sorra. Sovint, per resoldre l'erosió generada pels espigons es construeixen més espigons i s'entra en una dinàmica d'artificialització i *rigidització* massiva del litoral. Aquestes construccions generen un impacte paisatgístic notori a llargues distàncies i desnaturalitzen les dinàmiques eòliques i marines de la platja.

La millor mesura d'adaptació al canvi climàtic seria proveir el litoral de zones que permetin l'avenç del sistema platja-duna cap a l'interior, incloent la desconstrucció i renaturalització de les zones urbanitzades més afectades per l'erosió marina (Pilkey et al., 2011). Aquestes mesures són clarament agosarades i, fins i tot, poc realistes en el context de creixement de població en el qual estem immersos. Per tant, no hi ha cap escenari realista que pugui lidiar a curt o mig termini amb els problemes d'erosió que el 70% de litoral sorrenc pateix des de fa algunes dècades (Bird, 1996). Per això, cal promoure la resiliència de les platges en la seva gestió mitjançant actuacions de restauració, vegetació i estabilització del front dunar; l'increment en l'arribada de sediments d'origen fluvial; i la protecció dels pocs espais naturals que romanen (Defeo et al., 2009; Silva, Martínez, Odériz, Mendoza, & Feagin, 2016).

Ariza et al. (2008) denuncien que la gestió a les platges del litoral català està estrictament orientada a allotjar l'ús turístic, sense tenir en compte els altres valors i funcions derivades del sistema platja-duna. Així mateix, recomanen que la gestió de platges s'emmarqui dins la Gestió Integrada de la Zona Costanera o ICZM (sigles en anglès), basada en un enfocament ecosistèmic (*ecosystem management approach*) (Sardá, Higgins, Cormier, & Diedrich, 2014; Sardá, Pintó, & Valls, 2013). Això implicaria integrar el coneixement científic amb la presa de decisions per tal de mantenir i recuperar els valors naturals del sistema en el marc de prioritats de la gestió de platges i dunes (Bekes & Folke, 1998; Defeo et al., 2009; Martínez, Maun, & Psuty, 2004; McLachlan & Defeo, 2018d; van Der Meulen et al., 2004; Wiedemann & Pickart, 2004; Williams & Micallef, 2009). En el marc d'una ICZM es preveu la participació ciutadana i dels diferents agents implicats per millorar i facilitar la governança (Lozoya et al., 2014; Nordstrom, 2000; Nordstrom et al., 2011). La ICZM aconsella també establir diferents sectors de costa segons les característiques de cada un d'ells per tal d'orientar les actuacions de gestió de forma sectorial. En aquest sentit, a les platges urbanes es prioritzaria la funció recreativa, tot incorporant les funcions naturals i de protecció; mentre que les platges naturalitzades es prioritzaria la funció natural i de protecció i es combinaria en menor mesura amb la funció recreativa (Defeo et al., 2009).

Fins i tot, els projectes de protecció del litoral es poden combinar amb la funció natural del sistema. Tant la regeneració artificial de platges com la recuperació de dunes per a la protecció de la costa poden adoptar dissenys que permetin el bon funcionament morfològic del perfil platja-duna vers dels processos eòlics i marins als quals estan sotmesos (Jackson & Nordstrom, 2011; Jackson, Nordstrom, Feagin, & Smith, 2013; Nordstrom et al., 2011). En aquest sentit, si es recuperen les funcions naturals del sistema platja-duna la vulnerabilitat de les platges disminueix en tant que depèn de la dinàmica costanera, al mateix temps que incrementen els valors escènics, espirituals, de riquesa vegetal i animal, entre d'altres (Martínez et al., 2004; Silva et al., 2016). Tot i això, si no es preveu suficient espai que dissipï l'energia de les onades, les estructures urbanes de primera línia de mar esdevenen marcadament vulnerables. Destaca, en aquest sentit, la regeneració artificial a la platja de Riells (l'Escala, Girona) als anys vuitanta que desembocà

en greus problemes d'acumulació de sorres als carrers, jardins i habitatges del nucli urbà (Marqués et al., 2001).

Roig-Munar (2004) i McLachlan & Defeo (2018d) alerten que el sistema platja-duna s'ha de gestionar com un sol element ja que són interdependents pel que fa l'intercanvi de sediments i l'equilibri global del sistema. Cal doncs, trobar un equilibri entre les funcions naturals, de protecció i culturals per fer efectives i perdurables les accions de gestió de platges. Segons Williams (2011) la major part dels usuaris prefereixen platges naturals amb bon accés, aparcament, servei de restauració i lavabos, seguits per aquells que prefereixen platges situades a la perifèria de nuclis urbans o en pobles de mitjanes o petites dimensions.

Una de les mesures més estesa és la regeneració artificial de platges que, malgrat els elevats costos econòmics i els efectes negatius sobre la naturalesa (Sardá et al., 2000), ha resultat ser un mètode efectiu per lluitar contra l'erosió i garantir el manteniment dels sorrals costaners (Brown & McLachlan, 2002; Nordstrom, 2000, 2008; Pranzini, Anfuso, & Botero, 2018). En aquest sentit, cal tenir en compte la baixa disponibilitat de sediment de forma natural a causa de la disminució d'aportació sedimentària per part dels rius. Justament el litoral mediterrani espanyol és una de les zones més regenerades de forma artificial de la península Ibèrica (Valiela, 2006).

L'acumulació de sorres en l'acció de regeneració artificial pot dur-se a terme en diferents zones de la platja, sent la zona submergida la més recomanada pels menor cost econòmic i menor impacte geomorfològic i ecològic de la platja emergida (Nordstrom, 2013). Amb aquesta tècnica es proveeix de material sorrenc a la zona propera a la platja emergida que, al seu torn, alimentarà el perfil platja-duna dotant-lo d'una forma i estructura natural que afavorirà la formació dunar i els valors naturals i paisatgístics de la platja. En cas de realitzar la regeneració artificial directament sobre la platja seca, Nordstrom et al. (2011) plantegen la reproducció acurada de les morfologies dunars per tal d'alterar al màxim el perfil del sistema i dotar-lo per poder desenvolupar al mateix temps les funcions naturals, de protecció i recreatives. Aquesta pràctica porta associades nombroses conseqüències, entre les que destaquen els efectes sobre els ecosistemes marins i terrestres. A més dels costos ambientals, també s'ha de tenir en compte que la regeneració de platges és una solució a curt termini i comporta uns costos econòmics molt elevats, tant pel que fa l'operació en sí, com per l'elevat nombre de vegades que cal repetir-la (Pilkey et al., 2011).

Legislació

La protecció dels hàbitats dunars està formalment garantida per dos instruments de la Unió Europea, la Convenció de Berna (Council of Europe, 1982) i la Directiva Hàbitats (CEE, 1992) dels quals es desprenen efectes legals. La Convenció de Berna clama per la protecció de la flora i fauna en estat salvatge i els seus hàbitats naturals, mentre que la Directiva Hàbitats es centra exclusivament en els hàbitats que alberguen la flora silvestre i la fauna salvatge. El grau de protecció està subjecte a la prioritat de conservació de les espècies o hàbitats segons la seva raresa, exclusivitat o perill d'extinció. Per això, els hàbitats dunars estan catalogats com a zones d'especial conservació i, en alguns casos, de protecció prioritària segons la Directiva Hàbitats. Al marge d'aquests documents, la Directiva Marc de l'Aigua (European Commission, 2000) hauria de garantir la ICZM de tota la conca fluvial, inclosa la platja i la gestió del cabal aigües amunt de la desembocadura.

Tot i això, el marc legislatiu de la major part de països està àmpliament mancat d'unes pautes concretes destinades a la protecció ambiental i de la biodiversitat. Això s'accentua encara més quan ens referim la gestió de platges on es prioritza clarament la funció recreativa i les actuacions s'enfoquen a satisfer la demanda turística (Brown & McLachlan, 2002; Defeo et al., 2009; Heslenfeld et al., 2004). A Espanya, nombroses lleis estatals, autonòmiques i les ordenances municipals regulen i especifiquen aspectes sobre la qualitat de les aigües de bany, l'accés, la vigilància, l'emplaçament i els tipus de serveis o les

activitats recreatives a les platges (Ariza, 2011). Però cap norma estipula la gestió que cal fer per preservar l'hàbitat dunar i tan sols uns pocs sistemes platja-duna estan reconeguts pels seus valors naturals i compten amb plans de protecció i de gestió integrada destinats a preservar-los. En aquest sentit, un manual de recomanacions duta a terme per la Direcció General de Costes (Ley, Gallego-Fernández, Vidal, Gallego-Fernández, & Vidal-Pascual, 2007) serveix de guia general per a restaurar i conservar els ambients dunars.

Una breu història de la legislació espanyola en matèria de costes ens permet veure com ha incidit la llei en la degradació dunar al llarg del darrer segle.

No és fins a finals el 1969 que es redacta la primera llei de costes a l'estat espanyol. Fins aleshores les lleis que regulaven la primera línia de mar eren les Lleis de Ports de 1880 i 1928, destinades a la construcció i gestió de ports. Aquests documents legislatius no tenien un caràcter proteccionista de béns situats a la costa ja que el litoral no presentava cap símptoma de degradació o amenaça. Així, es va definir la zona marítimo-terrestre (ZMT) com l'espai fronterer entre el mar i la terra banyat per les onades en el seu límit superior durant temporals o en marea alta.

La Llei 28/1969, de 26 de abril, sobre costes (BOE, 1969), malgrat emmarcar-se ja en un context d'expansió urbana i d'explotació turística de les platges, tampoc no està destinada a protegir i salvaguardar els espais naturals del litoral. S'estipula que la ZMT està integrada per ribes del mar i ries formades per arenals o pedregars en superfície quasi plana, amb vegetació nul·la o escassa y característica, deixant fora, en molts casos, les dunes dels béns de domini públic. En consonància amb la política *desarrollista* de l'època, es pretén donar cabuda a la demanda del turisme de masses i potenciar el creixement econòmic com a màxima prioritat. En els espais públics (ZMT) s'hi fomentaven usos, activitats i construccions destinats a satisfer les necessitats d'oci, pesca i transport associades amb el litoral. En canvi, en els espais de titularitat privada (entre ells dunes) s'hi especificava que estaven destinats a la creació d'habitatges o negocis vinculats amb el turisme. Els plans urbanístics municipals dels anys setanta i vuitanta preveïen la construcció de zones residencials damunt de complexos dunars, i facilitaven l'emplaçament de cases aïllades en sòl no urbanitzable (Pons & Garriga, 2016) o l'extracció de les dunes com a àrids (Garriga-Sintes, Martín-Prieto, Roig-Munar, & Rodríguez-Perea, 2017).

Amb la implementació d'aquesta política estatal, les condicions ecològiques i morfològiques de les dunes van empitjorar més del que ja ho estaven, i no és fins l'any 1988 que es dissenya la Llei 22/1988 de costes (BOE, 1988) destinada a preservar i recuperar el patrimoni natural del sistema platja-duna. Es deixava clar que qualsevol tipus de duna forma un mateix sistema indissociable amb la platja i que aquest queda inclòs dins la zona de domini públic marítimo-terrestre (DPMT). Les dunes fixes es consideraven dins del DPMT fins el límit necessari per garantir l'estabilitat de la platja i la defensa de la costa. A més, es garanteix l'accés públic a totes les platges en trams urbanitzats, fet que segons Ariza (2011) va suposar la sobreexplotació del recurs platja. La llei del 1988 redefiniria de la ZMT, fet que suposaria el canvi de titularitat privada a pública de nombroses propietats. Aquesta iniciativa va causar cert refús entre els afectats a qui se'ls ofería un règim de concessions de 30 anys, prorrogables a 30 més, com a mesura compensatòria per acabar de gaudir de les seves propietats. Es pretenia, poc a poc, regenerar la integritat ecològica i morfològica del sistema platja-duna. Malgrat els bons propòsits plasmats al text legislatiu, durant el període de vigència d'aquesta llei es van permetre construccions i usos il·legals en el DPMT que van continuar malmetent els sistemes dunars (Mir-Gual, Pons, Roig-Munar, & Martín-Prieto, 2012).

Més enllà de la llei de costes, i a resultes de la Recomanació del Parlament i el Consell Europeu sobre l'aplicació de la ICZM (CE, 2002), que Espanya va ratificar, s'elabora una eina per implementar la gestió integrada a la costa, el "Plan Director para la Gestión Sostenible de la Costa" (Gobierno de España, 2005). També més endavant s'aprova el "Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017" (BOE, 2011) on es ressalta l'alt valor

ambiental i la fragilitat de les dunes costaneres i s'indica la prioritat de preservar-les i restaurar-les.

Tot i el conjunt de bones intencions presentat pel govern espanyol, cinc anys abans que acabés la primera etapa de concessions de la llei del 88, s'aprovà una nova llei que suposava la modificació de la Llei de costes de 1988. La Llei 2/2013 de 29 de maig (BOE, 2013) acabaria amb la voluntat de restaurar els sistemes platja-duna afectats per la urbanització i retornaria la visió d'ocupació massiva del sòl d'anys enrere.

La modificació de la normativa del 2013 preveu la prolongació del règim de concessions de les propietats privades a un total de 75 anys, exclou nombrosos sistemes dunars del DPMT i permet determinats usos turístics sobre les morfologies dunars (Pons, 2015; Pons & Garriga, 2016). En concret, les dunes fixades queden excloses del DPMT llevat d'aquells casos que s'evidencii científicament que són necessàries per mantenir l'estabilitat de la platja i la protecció de la costa. A més, la nova normativa ressalta la necessitat de potenciar activitats, usos i edificacions al servei de la societat en trams de costes urbanes. Per tant, no només queden fora del DPMT aquelles propietats en règim de concessió situades damunt les dunes fixades, sinó que el planejament urbanístic podrà preveure la construcció sobre les dunes fixades no urbanitzades fins el moment. Per si aquestes mesures semblen poc, també s'ha reduït l'amplada de la servitud de protecció dels 100 metres que preveia la llei del 1988 a tan sols vint metres en zones no urbanitzades dins la categoria de sòl urbanitzable.

A escala autonòmica, el govern català ha realitzat diverses accions legals per protegir els espais litorals, on destaquen el Pla Estratègic per la Gestió Integrada de les Zones Costaneres a Catalunya (Generalitat de Catalunya, 2004) i el Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner (DOCG, 2014) que donen les pautes per a la gestió integrada i protegeixen bona part de les àrees no urbanitzades costaneres. A escala regional la ICZM s'ha aplicat en varies ocasions de forma exitosa en varis trams de la costa catalana (Ariza, 2011; Banchini, Chelleri, Trujillo-Martínez, & Breton, 2009). El Pla d'Infraestructures del Delta del Llobregat (1994), el Pla per la Sostenibilitat de la Costa de l'Àrea Metropolitana de Barcelona (2005), el Pla Estratègic del Maresme (2015) i el Pla de Recuperació de Dunes de l'Empordà (2018) en són bons exemples.

Restauració dunar

El caràcter dinàmic de les dunes fa que una vegada restaurades tinguin una gran capacitat de regenerar-se, tant des d'un punt de vista geomorfològic com biològic (Gallego-Fernández et al., 2003). Hesp (2002, 1988) va estudiar àmpliament les dunes litorals i els seus estadis de degradació, establint que els escenaris d'erosió dunar es poden revertir mitjançant l'estabilització i revegetació de les morfologies erosives. En aquest sentit, Martínez et al. (2013) reuneixen un conjunt d'experiències que il·lustren la possibilitat i l'efectivitat de restauració dunar en costes humanitzades arreu del món; mentre que Sanjaume i Gracia-Prieto (2011) presenten un treball similar en diferents sistemes dunars degradats de la costa espanyola.

Les mesures de restauració dunar en costes humanitzades estan bastament detallades en diversos manuals i guies de restauració dunar on es detallen les tècniques i experiències aplicades a Estats Units i Europa (Gouguet, 2017; Ley et al., 2007; Nordstrom, 2008). Aquests treballs suggereixen diferents pràctiques de gestió relacionades amb restringir i orientar el flux dels visitants, reduir o extingir les operacions de neteja mecànica, acordonar les dunes per evitar-ne la freqüentació i eliminar espècies invasores (Figura 28). Una simple ordenació de l'aparcament a certa distància de la platja i una regularització del flux de gent mitjançant passarel·les controlades milloraria l'estat geomorfològic i ecològic de les dunes (Martínez et al., 2013; Nordstrom, 2008). Brown i McLachlan (2002) fins i tot reclamen la prohibició d'accés a platges i dunes que alberguen flora i fauna amenaçada.

Les barreres d'interferència eòlica són el mecanisme per excel·lència per crear morfologia dunar de forma natural allà on ha estat parcial o completament eliminada (McLachlan & Brown, 2006; Nordstrom, 2008). Les dunes resultant dependrà, tant en mida com en forma, la porositat, la geometria i l'alçada del material utilitzat, com de l'orientació i la inclinació, així com de les característiques de la sorra i del vent. La separació entre tanques i la topografia del terreny també són un factor que determinarà els resultat obtinguts. Per últim, però no menys important, el manteniment de les accions de restauració dunar establiran, a llarg termini, l'efectivitat de la gestió.

Li i Sherman (2015) revisen l'aerodinàmica i la morfodinàmica dels captadors de sorra i asseguren que hi ha una rigurosa investigació científica basada en assajos de proves i errors que proporcionarien les pautes d'utilització d'aquests mecanismes. El mateix document suggereix unes pautes d'ubicació i disseny de trampes de sorra segons les morfologies que es vulgui aconseguir. Més concretament, adverteixen que l'alçada i la porositat de les tanques són els factors clau que controlen el flux eòlic i l'acumulació de sediment. En un segon ordre de factors situen la geometria i l'orientació i la distribució de la porositat de la tanca per generar morfologies dunars. Els fluxs eòlics i la rugositat de la superfície són elements de primer ordre a considerar alhora de dissenyar els captadors de sorra.



Figura 28. Mesures de gestió emprades per la regeneració i conservació dunar: revegetació d'*Ammophila arenaria* (A) i abalisament dunar (B) a la platja de la Pineda, al delta del Llobregat (Viladecans, Barcelona); passarel·les de canalització d'usuaris (C), barreres d'interferència eòlica i acordonament (D) a la platja de Pals (Girona).

Data: estiu de 2018

Grafals-Soto (2012) alerta que la consecusió de trampes situades a poca distància entre elles creen una duna protectora que maximitza el volum de dunes, però que sacrifica la variabilitat topogràfica i la diversitat geomorfològica i vegetal. En canvi, un menor nombre

de files ubicades a una distància lleugerament més gran formen una duna que representa millor l'alta variabilitat topogràfica de les dunes naturals. L'alternança de zones d'exposició i zones arrecerades respecte els principals factors d'estrès (moviment de sorres, salinitat, humitat...) potencia el desenvolupament de comunitats vegetals en un espai relativament estret. La diversitat de vegetació i morfologia fan que el sistema dunar sigui més resistent a les condicions canviants i que augmenti el valor ecològic de les dunes. Els mateixos autors estableixen una alçada de les trampes de, com a molt, 25 centímetres argumentant que minimitza l'impacte visual i no dificulta la mobilitat de fauna terrestre.

En un context més proper a l'àrea d'estudi, Gallego-Fernández et al. (2003) resumeixen les tècniques utilitzades per regenerar el sistema dunar de forma sostenible mitjançant materials biodegradables i revegetació. La restauració dunar és un mecanisme relativament poc costós d'implementar ja que, una vegada eliminat l'origen de la pertorbació, el sistema platja-duna té capacitat de recuperar-se ràpidament. Els sistemes d'ajut a la recuperació dels sistemes són bàsicament captadors de sorra que varien en funció de les característiques del litoral a gestionar. Gracia et al. (2009) aconsellen que els captadors sorrencs tinguin uns 80 centímetres d'alçada i una porositat del 40-50% per aconseguir sedimentació a sotavent de la trampa. Així mateix, Ley et al. (2007) detallen els passos a seguir en els processos de restauració dunar, així com descriuen les principals tècniques de restauració recomanades per la Direcció General de Costes. Aquests passos són fonamentals per qualsevol actuació de regeneració dunar i es resumeixen en les següents actuacions: eliminació de la causa d'alteració, reconstrucció dunar, revegetació, protecció del sistema, divulgació de les actuacions realitzades, seguiment de la restauració i manteniment a llarg termini. En aquest manual s'especifica que durant el període de regeneració dunar s'han d'utilitzar sistemes de captació d'arena, o trampes de sorra, de materials biodegradables com el vímet, l'espartina o la fusta. També s'indica detalladament els mètodes de cultiu i replantació, així com les plantes que cal utilitzar per a revegetar les morfologies dunar. Finalment es cataloguen els diferents sistemes de passarel·les i tancaments que cal utilitzar per orientar el flux de gent a través de les dunes.

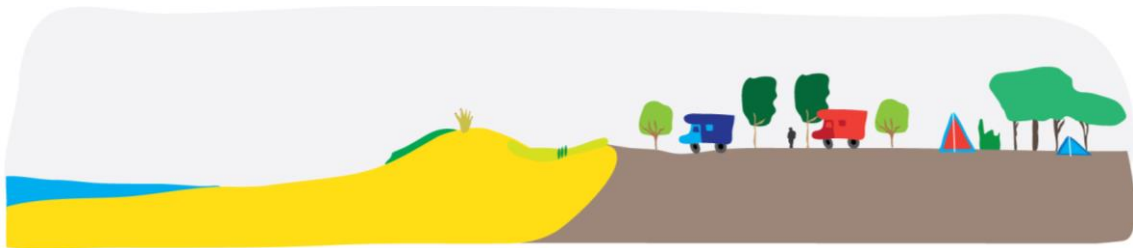
Gracia et al. (2009) ressalten la importància d'utilitzar passarel·les elevades i panells informatius que permetin a l'usuari prendre consciència del seu pas a través dels diferents hàbitats que un pot trobar des de les maresmes fins les dunes incipients. Així mateix, Roig-Munar et al. (2009) suggereixen que les mesures de gestió laxes són l'alternativa més sostenible per la restauració dunar. Aquestes mesures laxes de gestió inclourien l'ús de romanents de *Posidonia oceanica* com a barreres d'interferència eòlica, acordonament per protegir el sistema dunar, captadors de sorra ubicats segons la dinàmica eòlica i morfològica de cada indret o restricció de l'aplanament de la platja amb maquinària (Roig-Munar et al., 2018). Finalment, la regeneració artificial de platges (*beach nourishment*) pot resultar una bona alternativa alhora d'augmentar l'amplada de la platja (Grafals-Soto, 2012; Nordstrom, 2008; Roig-Munar et al., 2009) i iniciar les accions de restauració dunar. Aquesta mesura s'ha de dur a terme de manera molt específica i només en determinats contextos territorials ja que altrament en poden derivar resultats no desitjats (Nordstrom, 2000, 2008).

Tots aquests mecanismes han d'adreçar-se a la naturalització del sistema per a garantir un funcionament autònom a llarg termini i augmentar-ne la resiliència davant els episodis de pertorbacions naturals (French, 2001; Jackson et al., 2013; Nordstrom, 2008, 2013; Nordstrom et al., 2011; Nordstrom, Lampe, & Vandermark, 2000). A més, els sistemes dunars dinàmics són molt més resistents, resilents i menys costosos de mantenir que les dunes semi-fixades o fixades (Novo et al., 2004; Silva et al., 2016).

Malgrat que les pautes de restauració dunar són abundants i diverses experiències avalen la seva efectivitat arreu del món (Benavent et al., 2004; de Lillis, Costanzo, Bianco, & Tinelli, 2004; French, 2001; Gallego-Fernández et al., 2003; Gallego-Fernández, Sánchez, & Ley, 2011; Huang & Yim, 2014; Jackson & Nordstrom, 2011; Jackson et al., 2013; Muñoz-Vallés &

Cambrollé, 2014; Nordstrom, Jackson, & De Butts, 2009; Portz, Luana Manzolli & Alcántara-Carrió, 2018; Roig-Munar, 2011; Rozé & Lemauviel, 2004), sovint els gestors no adapten les mesures concretes a cada realitat geoambiental. Llavors els resultats esdevenen poc satisfactoris i, fins i tot, contraproductes (Gómez-Pina et al., 2002). Per exemple, Roig-Munar et al. (2018) discuteixen les mesures proposades per la Direcció General de Costes dins del manual de restauració de dunes costaneres (Ley et al., 2007) en l'àmbit de les Illes Balears. Els autors conclouen que les tècniques adoptades no s'adapten a la realitat de cada platja, i com a conseqüència s'assoleixen resultats no desitjats. En alguns casos, fins i tot, asseguren que algunes tècniques aplicades tenen resultats contraproductes ja que es creen zones d'erosió per efecte de trampes d'interferència eòlica.

3. Àrea d'estudi: la costa catalana



El litoral català, situat al nord-est de la península Ibèrica, té un recorregut de 650 quilòmetres a través dels quals transcorre per 70 municipis i 3 províncies (Figura 29). Des del cap de Creus al delta de l'Ebre el paisatge de la costa catalana presenta morfologies costaneres variades en la seva alternança de trams de costa baixa i costa alta. Els trams de costa baixa ocupen una longitud lleugerament superior a la costa rocosa que suposa el 40% de tota la ribera de mar. Al llarg de les províncies litorals hi ha una àmplia representació tant de paisatges de costa alta, com de paisatges de costa baixa. Així, les formes de relleu litorals catalanes van des de llargues platges rectilínies i marcades badies, fins a penya-segats escarpats i zones rocoses que donen lloc a petites i mitjanes cales i platges encaixades.

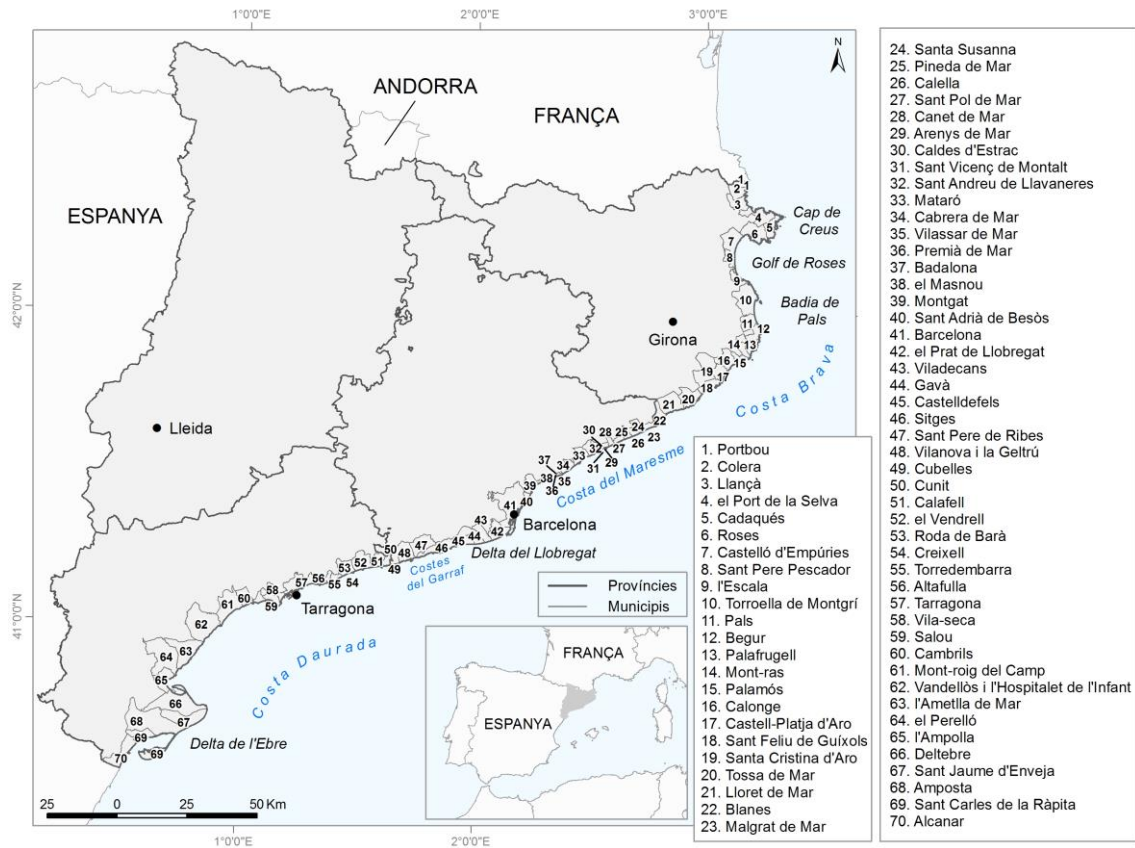


Figura 29. Límits administratius dels municipis litorals

Font: ICGC

3.1. Característiques físiques i ambientals de la costa catalana

Les formacions dunars més importants de Catalunya es situen allà on hi ha disponibilitat de sediments i vent, i allà on la topografia és idònia per al seu desenvolupament. Això es dona prop de les desembocadures dels rius, als deltes o planes deltaïques, i en menor mesura, a les cèl·lules litorals llagues formades per platges llargues i amples. Al litoral català, igual que la resta del Mediterrani, les construccions dunars de més entitat es localitzen, doncs, prop de desembocadures de rius cabalosos (Gracia et al., 2009; Sanjaume & Gracia, 2011). El delta de l'Ebre, i en menor mesura el delta del Llobregat o les planes deltaïques del Ter i el Fluvià, s'associen amb les formacions dunars més importants de Catalunya.

Els vents més forts de la costa catalana es situen als extrems nord i el sud, on la tramuntana i el mestral, respectivament, bufen de component nord-oest. Els valors de

velocitat mitjana es situen al voltant de 5 m/s, al nord, i de 4 m/s als sud del país, segons les dades extretes de Puertos del Estado durant el període 1958 – 2018 (MMA, 2019). En canvi, la intensitat del vent és menor a la regió central del país on, per exemple al delta del Llobregat, bufen de l'ordre de 3 m/s (Figura 30). Malgrat la poca força del vent prop de la ciutat de Barcelona, les dunes efectivament s'hi desenvolupen ja que el sediment està compost de sorres fines i el vent, malgrat que lleuger, és suficientment viu com per acumular sorres a l'extrem interior de la platja.

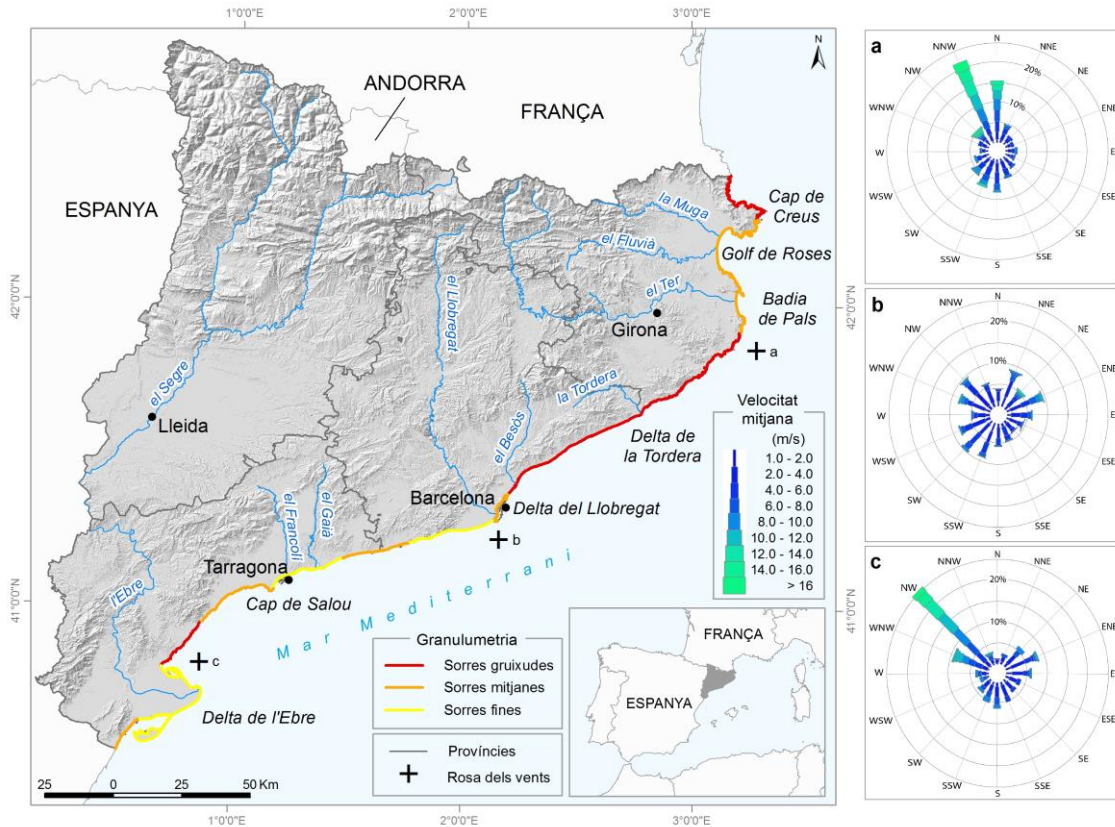


Figura 30. Caracterització física general del litoral català: règim edic, granulometria, formes de relleu i rius principals

Font: ICGC, ICC (2010) i MMA (2019)

El litoral català es pot dividir, a grans trets, en dos sectors segons la granulometria de les seves platges: des del cap de Creus a la ciutat de Barcelona i des d'aquest punt fins al delta de l'Ebre (ICGC, 2016a; Montoya-Montes, Sánchez-García, Alonso, Casamayor, & Santalla, 2019). A la meitat nord, hi predominen els materials metamòrfics i granítics i hi abunden, per tant, les granodiorites, les pissarres i els esquistos, mentre que a la meitat sud hi predominen els materials calcaris. Aquesta variació en la litologia fa que al sector nord hi predominin les sorres de mida mitjana i grossa i, per contra, les sorres fines i mitjanes ho fan al sector sud.

Pel que fa les corrents marines, el transport longitudinal de materials de Catalunya segueix el patró de nord a sud, amb una direcció de les corrents de deriva de nord-est a sud-oest. Chiocci et al. 1997) van concretar que les corrents de deriva ocasionen un transport longitudinal de sediments seguint la direcció esmentada de 30 cm/s al terç nord del litoral català i 10 cm/s a la zona de l'Ebre.

A les planes litorals de les costes europees poc transformades el paisatge dunar pot tenir una amplitud considerable, amb una gran diversitat de morfologies i hàbitats dunars que inclouen de mar cap a terra les zones següents: platja alta, dunes embrionàries, la cresta dunar, les dunes semi-fixades o rereduna i les dunes fixades (Biondi et al., 2009; Janssen et al., 2016). En canvi, en la majoria dels sistemes dunars que romanen a les costes antròpica del Mediterrani les dunes tenen molt poca amplada i, generalment, només presenten un cordó dunar encaixat entre la platja i la zona urbanitzada (Malavasi, Bartak, Carranza, Simova, & Acosta, 2018). Això es veu agreujat en costes fortament humanitzades, com el litoral català, on la franja de dunes semi-fixades o de rereduna hi és absent en quasi tots els sistemes dunars.

A Catalunya s'han identificat deu hàbitats dunars (Generalitat de Catalunya, 2015; Vigo, Carreras, & Ferré, 2008) basats en la classificació dels hàbitats CORINE (CEC, 1991) (Taula 4). A més, s'ha localitzat 37 plantes vasculares que tenen el seu hàbitat exclusiu a les platges i dunes (Pintó et al., 2012, 2014, en revisió) (Taula 5).

Taula 4. Hàbitats dunars de Catalunya. Codificació i nomenclatura segons el manual de biòtops CORINE (CEC, 1991)

Font: Vigo et al. (2008) i Generalitat de Catalunya (2015)

Codi	Hàbitats
16.2112	Dunes embrionàries, amb comunitats obertes d' <i>Elymus farctus</i> , <i>Sporobolus pungens</i> ...
16.2122	Dunes movents, amb comunitats d' <i>Ammophila arenaria</i>
16.223	Dunes estabilitzades, amb comunitats de <i>Crucianella maritima</i> , <i>Ononis natrix</i> subsp. <i>ramosissima</i> , <i>Thymelaea hirsuta</i> ...
16.228	Pradells de teròfits (<i>Medicago littoralis</i> , <i>Vulpia fasciculata</i> , <i>Desmazeria marina</i> ...), de les arenas carbonàtiques de rereduna, al litoral meridional (delta de l'Ebre)
16.229	Llistonars (prats de <i>Brachypodium retusum</i>) i altres prats secs amb teròfits, colonitzadors d'arenys marítims
16.271	Cadequers (<i>Juniperus oxycedrus</i>) de dunes fixades del litoral
16.272	Savinoses (<i>Juniperus phoenicea</i> subsp. <i>turbinata</i>) de dunes fixades del litoral
16.28	Dunes residuals colonitzades per brolles o garrigues
16.2982/3	Dunes residuals plantades de pins (<i>Pinus pinea</i> , <i>P. pinaster</i>)
16.34	Jonqueres d' <i>Scirpus holoschoenus</i> var. <i>australis</i>) i herbassars graminoides d' <i>Saccharum ravennae</i>), de depressions humides interdunars (<i>slacks</i>)

Alguns d'aquests hàbitats són molt rars i n'hi ha d'altres que han desaparegut, com el cadequer de dunes fixades del litoral (Taula 4 codi 16.271). Prop de la desaparició es troba la savinosa de dunes fixades del litoral (Taula 4 codi 16.272) que només resta present com a testimoni anecdòtic a la duna escalant situada al de la platja Llarga de Tarragona i està classificada per la Directiva Hàbitats com a hàbitat d'interès comunitari de protecció especial. També les dunes fixades amb pinedes (Taula 4 codi 16.2982/3) gaudeixen del mateix grau de protecció que les savinoses per la directiva europea de protecció d'hàbitats. El conjunt d'hàbitats de la Taula 4 estan amenaçades per la fragmentació i la desaparició de les dunes vinculada les dinàmiques urbanístiques, freqüentació turística i pel retrocés de la línia de costa.

Algunes de les espècies exclusives de sistemes platja-duna són presents a molt pocs sistemes dunars. Es tracta d'*Ambrosia maritima*, *Echium arenarium*, *Erodium laciniatum*

ssp. *laciniatum*, *Juniperus phoenicea* subsp. *turbinata*, *Malcolmia ramosissima*, *Maresia nana*, *Phleum arenarium*, *Rumex roseus* i *Silene ramosissima* (Pintó et al., 2018). Algunes d'aquestes 37 espècies exclusives de platges i dunes podria ser absent actualment a la costa catalana ja que la fase prèvia a l'extinció és la raresa de les espècies (Gaston, 1994). Per exemple, *Echium arenarium* només està citada per (Gutiérrez et al., 2014) a la platja del Torn, al municipi de l'Hospitalet i Vandellòs de l'Infant. Actualment aquesta planta no s'ha localitzat ni en aquesta platja ni a cap més de Catalunya (Pintó et al., en revisió).

Taula 5. Espècies exclusives d'hàbitats de platja i duna del litoral català.

Font: Modificat de Pintó et al. (2012)

<i>Ambrosia marítima</i>	<i>Euphorbia paralias</i>	<i>Pancratium maritimum</i>
<i>Ammophila arenaria</i> ssp. <i>arundinacea</i>	<i>Euphorbia peplis</i>	<i>Phleum arenarium</i>
<i>Anthemis marítima</i>	<i>Juniperus phoenicea</i> ssp. <i>eumediterranea</i>	<i>Polygonum maritimum</i>
<i>Cakile marítima</i> ssp. <i>marítima</i>	<i>Limoniastrum monopetalum</i>	<i>Pseudorhiza pumila</i>
<i>Calystegia soldanella</i>	<i>Lotus creticus</i>	<i>Rostraria littorea</i>
<i>Crucianella marítima</i>	<i>Malcolmia littorea</i>	<i>Rumex roseus</i>
<i>Cutandia marítima</i>	<i>Malcolmia ramosissima</i>	<i>Silene nicaensis</i>
<i>Cyperus capitatus</i>	<i>Maresia nana</i>	<i>Silene ramosissima</i>
<i>Echinophora spinosa</i>	<i>Matthiola sinuata</i> ssp. <i>sinuata</i>	<i>Sporobolus pungens</i>
<i>Echium arenarium</i>	<i>Medicago marina</i>	<i>Stachys marítima</i>
<i>Elymus fractus</i>	<i>Ononis natrix ramosissima</i>	<i>Teucrium dunense</i>
<i>Erodium laciniatum</i> ssp. <i>laciniatum</i>	<i>Otanthus maritimus</i>	<i>Vulpia membranacea</i>
<i>Eryngium marítimum</i>		

3.2. La costa catalana, un paisatge humanitzat

En el passat, les dunes de la costa catalana assolien grans dimensions, especialment prop de les desembocadures dels rius on el règim eòlic, la disponibilitat de sediment i l'amplada de la platja en garantia el seu desenvolupament (Pintó & Garcia-Lozano, 2016; Pintó & Panareda, 2007). Les dunes més desenvolupades es localitzaven als deltes i planes deltaiques, especialment al delta de l'Ebre, al delta del Llobregat, a la badia de Pals i al golf de Roses.

En canvi, actualment és justament als trams sorrencs de costa baixa on avui dia predomina el paisatge humanitzat. La majoria de sistemes dunars es localitzen en platges que durant els mesos d'estiu hostatgen un gran nombre d'usuaris. Segons Ariza et al. (2008) les platges de Catalunya es poden diferenciar en tres tipologies segons el seu grau d'urbanització:

- Les **platges urbanes** són les que es localitzen en nuclis urbans d'alta densitat d'habitatges i edificacions al voltant, amb almenys un 60% de l'entorn urbanitzat.
- En un segon grau d'humanització es situen les platges **semi-urbanes** que corresponen a entorns urbanitzats de baixa densitat o urbanització difusa, amb almenys un 50% de l'entorn urbanitzat.
- Finalment, les **platges naturals** són les que es situen en entorns forestals o agraris i que no tenen estructures urbanes a l'entorn immediat de la platja.



Figura 31. Sistema platja-duna on s'observa el càmping *la Gavina* de Creixell (Tarragona), ubicat al límit interior del cordó dunar (A) i facilita accessos directes a la platja a través de la duna als banyistes, fins que a la meitat sud del càmping les dunes han desaparegut (B)

Data: maig de 2018

La transformació del litoral està fortament marcada per la gran pressió urbanística de la primera franja costanera, així com per les intervencions de la conca fluvial. El trepig de les dunes (Figura 31 i Figura 32) i altres pertorbacions derivades de la freqüentació humana (Figura 23), així com la introducció d'espècies exòtiques invasores (Figura 24) (Panareda & Pintó, 2015; Pino et al., 2006), amenacen la conservació de les morfologies dunars i de les espècies i comunitats més sensibles (del Vecchio et al., 2016; Janssen et al., 2016) ja que afecten de forma continua les corbes de sensibilitat ambiental (Figura 21).

L'impacte paisatgístic i ambiental de les aglomeracions urbanes al sistema platja-duna afecta sobretot l'extensió i qualitat de l'hàbitat dunar. Mentre que l'impacte de les intervencions a la conca fluvial, també àmpliament detallat en la secció anterior, és el principal factor responsable del retrocés que pateixen més del 70% de platges catalanes (ICC, 2010). L'escenari de regressió de platges es veu agreujat pels efectes del canvi climàtic que vindran sobretot donats per l'increment en la intensitat i la freqüència de temporals. També, l'ascens del nivell del mar afectarà les zones més planeres, especialment en el context català on el delta de l'Ebre serà se'ns dubte l'indret més perjudicat (Jiménez et al., 2017; Sánchez-García et al., 2019).



Figura 32. Càmping *Las Palmeras* de la platja Llarga de Tarragona. Aquest càmping està situat damunt del cordó dunar (A) i proporciona passeres a través de les dunes cada 40 metres per facilitar l'accés dels seus clients a la platja (B).

Data: juny de 2018

Pintó et al. (2018) fan una anàlisi exhaustiva de l'estat del litoral català, tant des del punt de vista dels processos antròpics, com naturals. Des d'aquest punt fins el final del present subapartat, les xifres i les afirmacions facilitades es cenyiran als resultats recentment obtinguts en aquest estudi i detallen la síntesi de les dinàmiques urbanístiques i turístiques que ha rebut el litoral català als darrers anys.

El 45% de la població catalana resideix en els 70 municipis que conformen el litoral català, el que equival a menys del 7% de la superfície de la comunitat autònoma (IDESCAT, 2019). Al llarg de la costa catalana els desequilibris territorials també es fan palesos, ja que l'àrea metropolitana de Barcelona és la regió més densament poblada amb densitats d'entre 10.000 i 17.000 hab/km² (Figura 33). Només la ciutat comtal ja concentra gairebé el 50% de la població resident distribuïda pels municipis litorals. La segueixen la resta de municipis costaners de la província de Barcelona amb densitats que arriben als 5.000 hab/km². Els extrems nord i sud del país són les àrees relativament menys poblades amb xifres que no superen els 500 hab/km² a les comarques de la Costa Daurada i la Costa Brava (Figura 33).

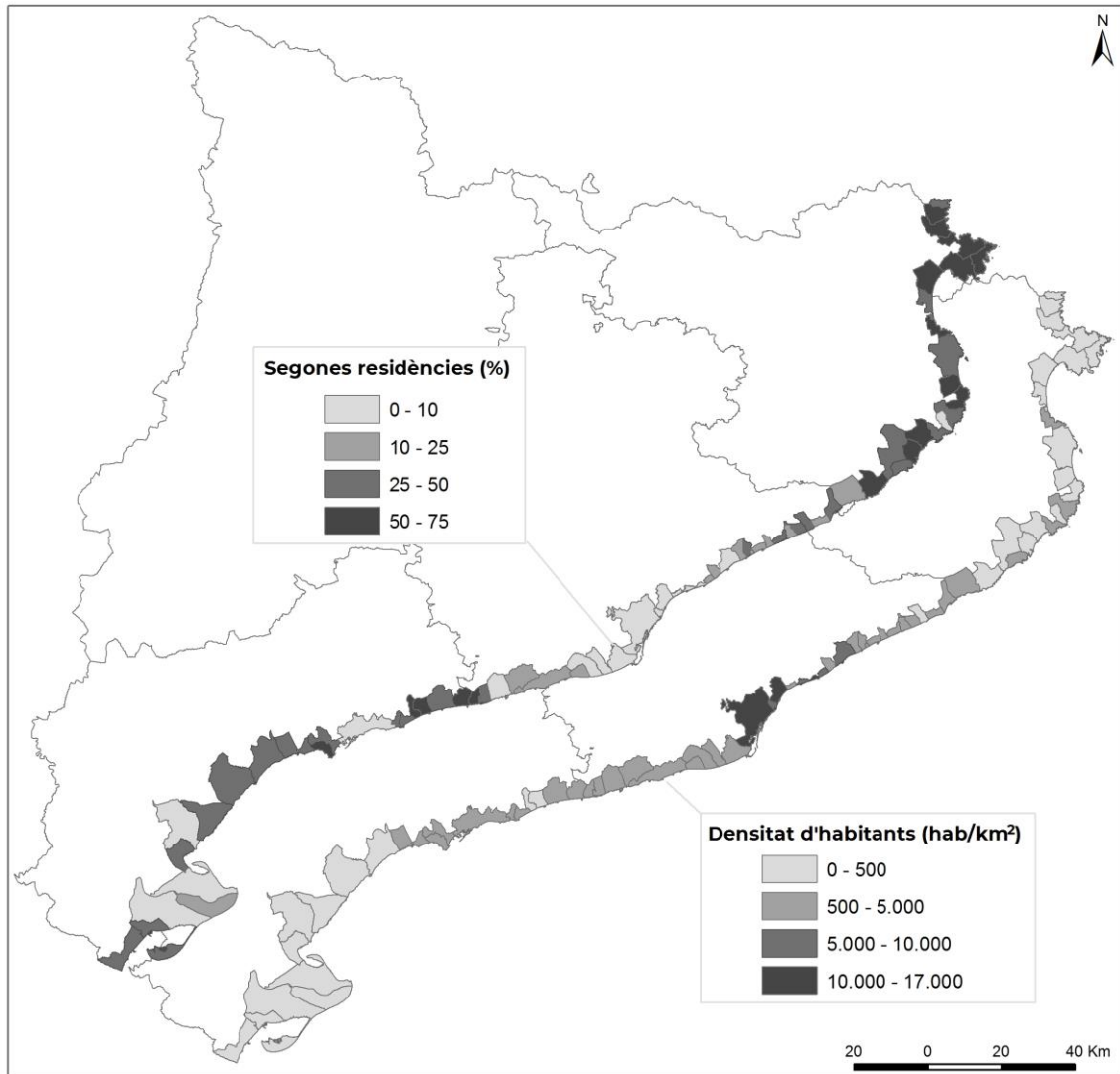


Figura 33. Densitat d'habitants i segones residències als municipis de la costa catalana
 Font: Modificat de Pintó et al. (2018)

Amb això, la proporció de sòl urbanitzat a la costa pot arribar a ser molt elevada en relació a la superfície del terme municipal, en alguns casos arribant a superar fins hi tot el 80% del sòl disponible (Figura 33). En general, el parc d'habitatges de segona residència no supera el 10% en el còmput global dels municipis catalans, mentre que aquesta xifra supera lleugerament el 30% en municipis litorals. Tot i això, cal ressaltar que el 25% de municipis costaners tenen un parc d'habitatges de segona residència superior el 50% (Figura 33). Aquesta xifra podria augmentar substancialment si es computessin aquí el parc d'habitatges buits que, en nombroses ocasions poden llogar-se durant les temporades de vacances i acabar funcionant a la pràctica com habitatges de segona residència. A més cal sumar el fet que la urbanització del litoral s'entén de manera difusa arreu de la costa, tant en costes baixes sorrenques com en costes muntanyoses amb vistes al mar. Els nuclis de població se solen situar en trams de costa baixa o immediatament després d'una platja, mentre que les urbanitzacions disperses es localitzen sobretot en vessants muntanyoses i turons amb vistes al mar.

La gran oferta d'allotjaments disponibles permet que la població estacional d'alguns d'aquests municipis arribi a duplicar el nombre de residents permanents. La major part de municipis de costa augmenten la seva població entre un 100 i un 150%, i fins i tot, a 8

municipis costaners la població té taxes de creixement de població estacional d'entre el 150 i 275%. La Figura 33 il·lustra com el municipis amb més nombre de segones residències són, efectivament, els menys densament poblats.

La pressió antròpica que rep la costa catalana ha comportat una transformació del paisatge dunar per implementació d'activitats humanes relacionades amb el turisme. Sovint, els espais de rereduna i maresme s'han substituït per nuclis urbans o complexos turístics que han comportat la degradació i desaparició de l'hàbitat dunar (Figura 34).

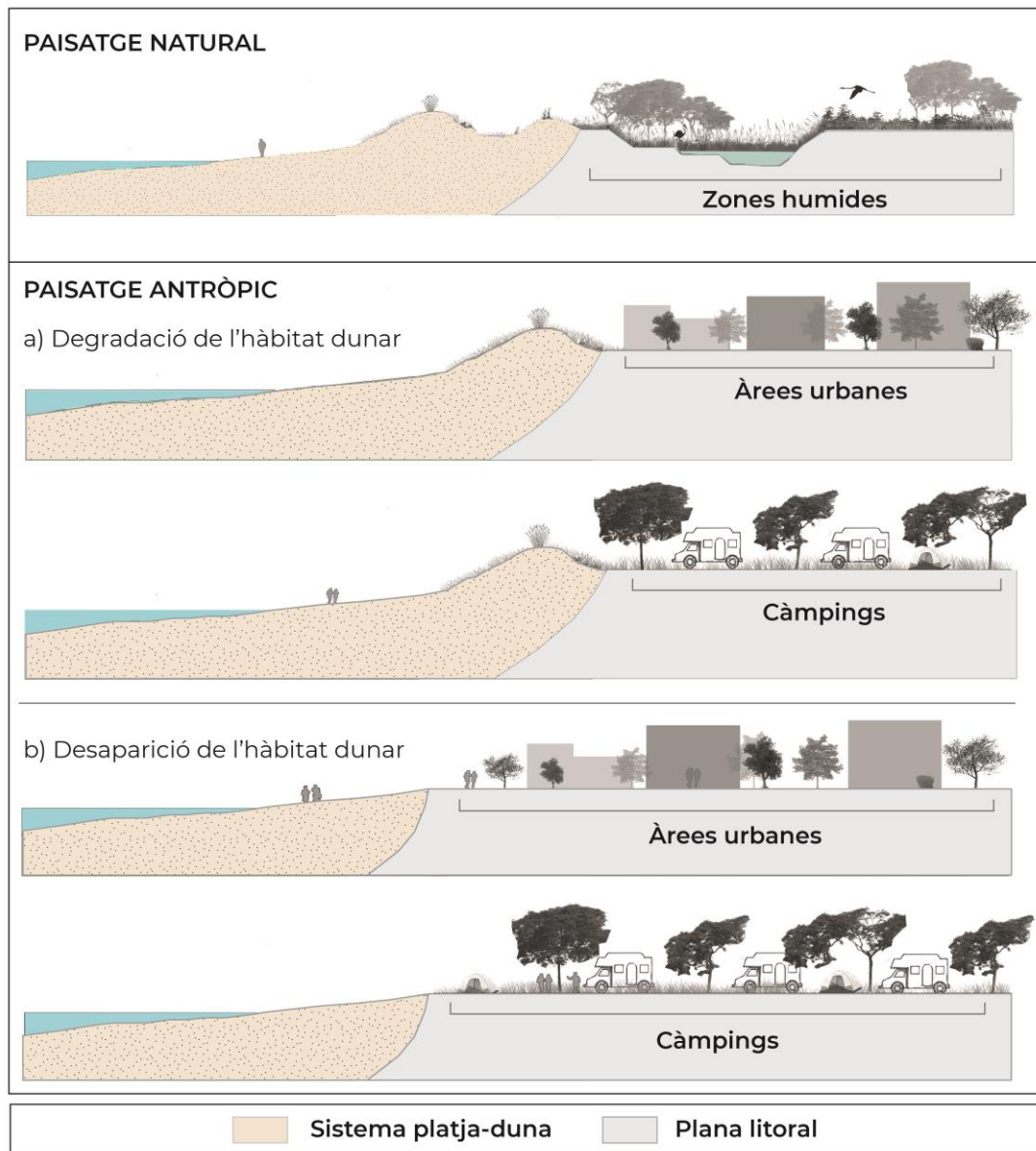


Figura 34. Transformació del paisatge dunar. El paisatge dunar tradicional s'ha transformat a causa de la implementació de nuclis urbanístics i complexos turístics, com urbanitzacions i camps. La degradació i desaparició de l'hàbitat dunar a donat lloc a un sistema platja-duna fortament alterat on la manca de cordons dunars dificulten el compliment de les funcions natural i de protecció de la platja.

Font: Elaboració pròpia. Dibuixos elaborats amb l'ajuda d'Enrica Garau

A banda de la construcció d'habitatges, el litoral català destaca pels seus 45 ports i dues marines. Les dues marines es situen al nord del golf de Roses, mentre que els ports es distribueixen equitativament al llarg de tota la costa. D'aquests 19 són exclusivament esportius, el que suposa poc menys de la meitat del total de ports de Catalunya. A més dels ports (Figura 25), els ports espigons també interrompen el transport longitudinal de sediments, al mateix temps que alteren el paisatge costaner. Les platges del Maresme, el sector entre Sitges i Cunit (Figura 35), i Cambrils són els sectors de la costa catalana més alterats per aquestes obres d'enginyeria.



Figura 35. Espigons paral·lels a la costa. A – Sector entre Vilanova i la Geltrú i Cunit; B – Platja Llargà de Vilanova i la Geltrú i Cubelles. En vermell s'ha marcat el punt en comú de les dues fotografies.

Data de la fotografia B: Gener de 2016 (fotografia cedida per Josep Pintó)

Font: Visor de l'Institut Geogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC, 2018)

Aquestes xifres són un clar símptoma del model turístic massiu basat en el binomi de sol i platja que s'ha instaurat a quasi totes les zones mediterrànies i que es caracteritza per la marcada estacionalitat durant els mesos d'estiu. A Catalunya, el turisme de costa ha estat la principal destinació durant dècades, només superada per la ciutat de Barcelona en els darrers anys (Valls et al., 2017). El turisme és una de les principals activitats econòmiques a la regió ja que genera el 12 % del PIB i el 15 % de l'ocupació (IDESCAT, 2019).

Davant d'un paisatge litoral tan alterat per la urbanització, el 2005 es va aprovar el Pla Director Urbanístic del Sistema Costaner (PDUSC) que pretenia protegir el litoral català i evitar que l'impacte paisatgístic i mediambiental derivat de la manca de planejament fos encara més gran. Amb aquest propòsit, es van fer un seguit d'actuacions entre els que destaquen la classificació de 16.500 hectàrees dins els primers 500 metres de franja litoral com a sòl no urbanitzable del sistema costaner, desclassificar més de 300 hectàrees de sòl urbanitzable programat, o qualificar com a zones de protecció costanera o paisatgística gairebé 200 hectàrees, entre d'altres. Tot i això, alguns plans d'ordenació urbanística municipal (POUM) que són previs a la redacció del PDUSC, no han adaptat la qualificació del sòl en la línia proteccionista que dicta l'esmentat pla. Els efectes que pot tenir sobre el litoral són realment alarmants ja que actualment s'estan revifant alguns projectes de construcció que havien quedat en un calaix a causa de la crisi econòmica, com les urbanitzacions d'Aiguafreda, sa Riera i s'Antiga a Begur («SOS Costa Brava», 2019). Per tal d'analitzar la casuística particular de cada cas, i gràcies a les actuals pressions d'associacions ecologistes com la plataforma SOS Costa Brava, el govern de la Generalitat ha aplicat una moratòria que afectaria la concessió de llicències de construcció.

El cert és que la major part de la costa catalana està urbanitzada i només resten alguns petits indrets de costa sense urbanitzar, la major part d'ells espais naturals protegits. El tram costaner de la província de Girona, la Costa Brava, és de tot Catalunya la zona amb més espais naturals protegits sense presència urbana (Figura 36). De nord a sud el Parc Natural del cap de Creus, el Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà, el Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter preserven bona part del patrimoni paisatgístic i natural de l'Empordà. En un segon ordre de protecció, els massissos de Begur i Cadiretes, i la zona entre el cap Roig i la platja de Castell, estan etiquetats com a Espais d'Interès Natural (EIN). Finalment, dos Paratges Naturals d'Interès Nacional (PNIN) tanquen la zona, al límit septentrional amb l'Albera i al meridional amb Pinya de Rosa (Figura 36).

El segueix la costa de Tarragona, la Costa Daurada, gràcies a la protecció del Parc Natural del Delta de l'Ebre (Figura 36). Més cap al nord també destaquen la presència d'EIN que preserven difusament petits trams costaners: des dels Argelins al cap de Santes Creus, el sector la Rojala-Platja del Torn, la Punta de la Mora i la platja de Torredembarra. En canvi, la costa de Barcelona destaca per la poca presència d'espais naturals protegits. Des de Cubelles a Malgrat de Mar hi ha tres sectors ben diferenciats: la Costa del Maresme, el delta del Llobregat i les Costes del Garraf. En aquest tram de costa, tan sols hi ha dues zones EIN al massís del Garraf i una altra al delta del Llobregat (Figura 36).

A més d'aquestes zones protegides, i gràcies als esforços del PDUSC, també hi ha alguns trams de costa sense urbanitzar, els quals hauran de mantenir-se com a tals. Tot i això, actualment a la costa catalana hi ha més de 4 quilòmetres de trams de costa sense urbanitzar i classificats com a sòl urbà o urbanitzable (Pintó et al., 2018).

Pel que fa la gestió dels sistemes platja-duna, des de la Llei de costes de 1988 modificada el 2013 (BOE, 2013) són part del domini públic marítim-terrestre. Aquesta llei protegeix les dunes explícitament i delega la seva gestió a les autoritats locals i regionals sota la supervisió de l'estat. L'estat, a més, a través de la Direcció General de Costes té les competències exclusives per regenerar les platges o planificar infraestructures de protecció a la costa, entre d'altres. Mentre que els ajuntaments tenen reservada l'elaboració del pla d'usos de les platges pel que respecte a les instal·lacions de serveis i equipaments de temporada d'estiu i la neteja de platges per garantir unes condicions de sanejament establertes per llei (Ariza et al., 2012; Sardá et al., 2014).

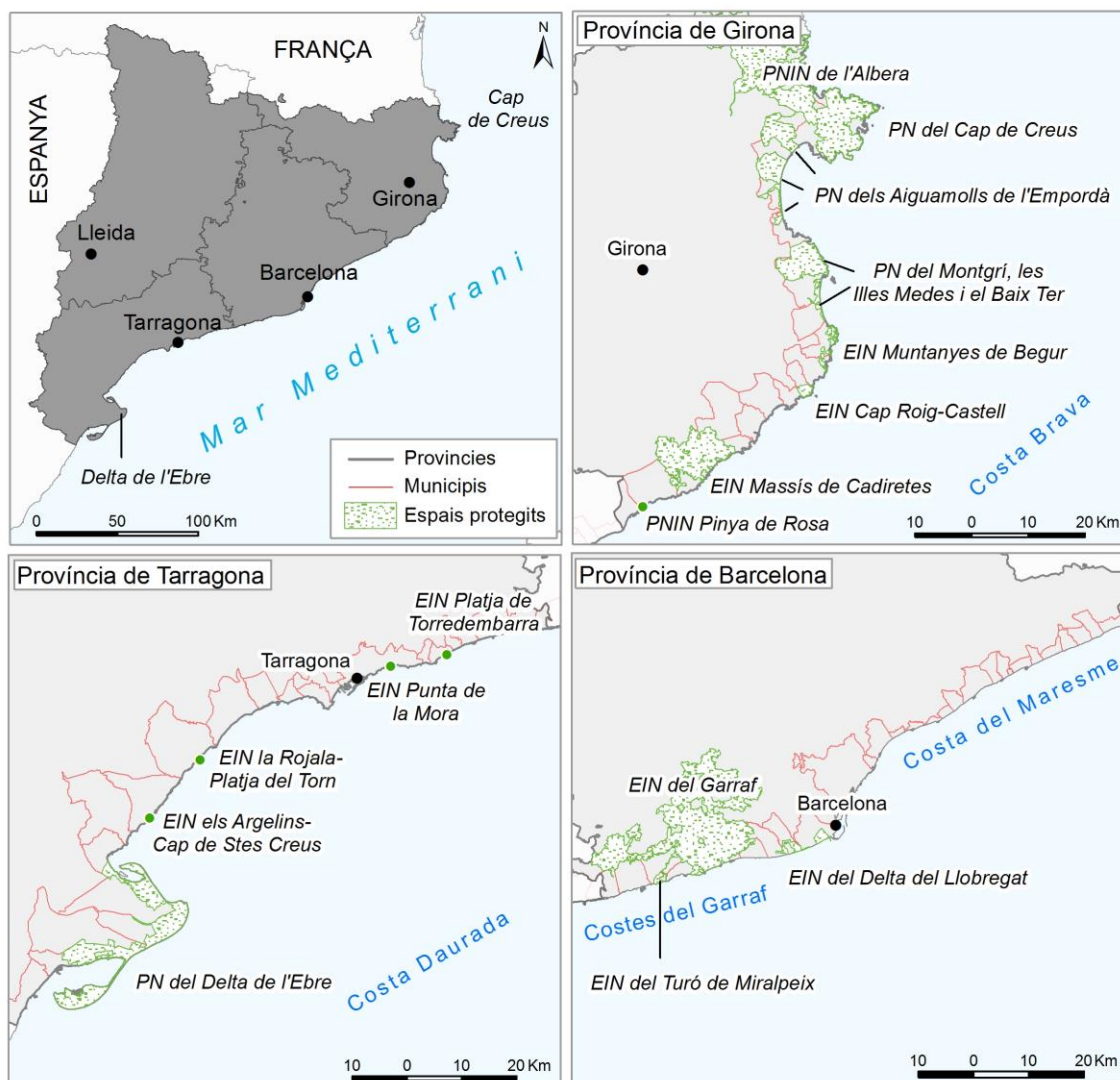


Figura 36. Espais naturals protegits del litoral català per províncies, segons si són Espais d'Interès Natural (EIN), Parcs Naturals (PN), o Paratges Naturals d'Interès Nacional (PNIN)
 Font: Elaboració pròpia a partir de les dades disponibles a Generalitat de Catalunya (2019a)

3.3. Principals sectors dunars: deltes i planes deltaïques

La costa catalana concentra els majors sistemes dunars prop de les desembocadures dels rius principals, on la disponibilitat de sediment i l'amplada de la platja n'han afavorit la seva formació. Les zones deltaïques han sofert diverses fases de progració i regressió lligades al règim fluvial, a la gestió de la conca hidrogràfica i a planificació i gestió de la costa. Tot seguit es comenten breument les característiques ambientals i l'evolució dels espais que alberguen les principals dunes a Catalunya, els deltes i les planes deltaïques.

3.3.1. Delta de l'Ebre

El delta de l'Ebre és una de les formacions deltaïques més destacades d'Europa mediterrània. Amb una extensió de 320 km², les platges del Delta alberguen un dels sistemes dunars més importants del litoral mediterrani espanyol que és, sens dubte, el més important de la costa catalana. Aquestes formacions dunars s'originen gràcies a la gran disponibilitat de sediment, la gran extensió de platja i el fort mestral, flux eòlic dominant de gran intensitat i component nord-oest.

Les fases de formació del delta (Figura 37), així com les taxes d'erosió i aportació sedimentàries en diferents períodes històrics estan àmpliament estudiats i detallats per diversos estudis (Alvarado-Aguilar et al., 2012; Guillén & Palanques, 1992; Ibáñez et al., 2010; Jiménez, 1996; Jiménez et al., 1997, 2017; Maldonado, 1972; Mariño, 1992; Nelson, 1990; Palanques et al., 1990; Sánchez-Arcilla et al., 2008). La progradació del delta es va originar amb l'increment eustàtic del nivell del mar vinculat a la darrera post glaciació (Maldonado, 1972) i, més concretament, al llarg del darrer mil·lenni, moment en què es formen els tres lòbuls que li donaran l'actual forma.

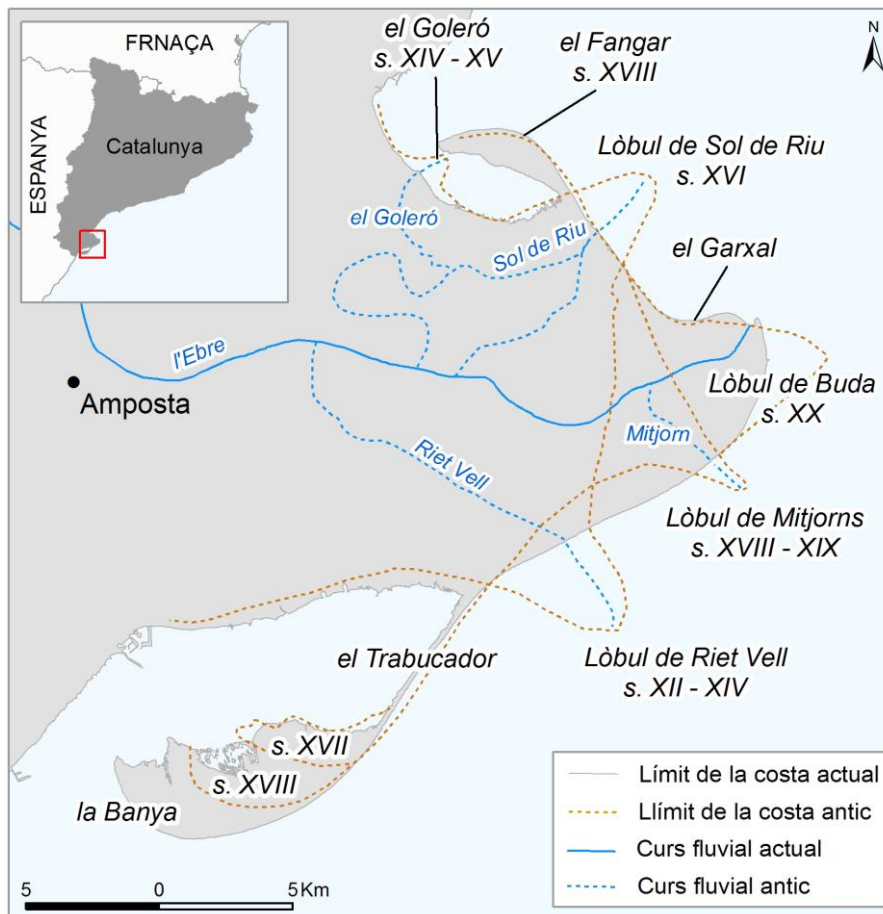


Figura 37. Evolució de la costa del delta de l'Ebre
 Font: Modificat de Rodríguez-Santalla i Somoza (2019)

Durant els segles XII i XIV (Figura 37) es forma el lòbul sud motivat per la desembocadura del Riet Vell. Posteriorment, a causa de la migració del riu cap al nord, es formarà el lòbul nord, actiu fins el segle XVII i vinculat a la al nou curs fluvial anomenat Riu de Zaida o Sol de Riu. Durant els segles XVIII i XIX es va formar el lòbul de Migjorn, situat a la part central del delta per la oscil·lació de la desembocadura cap a la zona central de l'actual delta.

Els diferents creixements del delta són conseqüència de la desforestació que té lloc terra endins. Un exemple és la progressió entre els segles XIV i XV (Figura 37) a causa de la intensa tala de boscos (Guillén & Palanques, 1992). També, durant els s. XVI i XVII la desforestació massiva per a la construcció de naus a la descoberta i conquesta del Nou Món fou la responsable d'una crescuda rellevant del delta gràcies al volum de sediments erosionats als vessants nus de vegetació. En canvi, entre els s. XVII i XVIII (Figura 37) el

nivell del mar baixa fins a 1 metre al delta a causa de les glaciacions ocorregudes durant la Petita Edat de Gel. Les desglaciacions que segueixen aquest període fan incrementar la càrrega sedimentaria al delta i, conseqüentment, s'assisteix a un altre període de creixement. Això també comporta un ascens del nivell del mar que podria ser la responsable de l'erosió dels lòbuls nord i sud i conseqüent formació de les actuals morfologies dels extrems del delta, la punta del Fangar, la punta de la Banya i la barra del Trabucador.

L'erosió actual del delta de l'Ebre (Figura 37) es deu principalment a la disminució de la càrrega sedimentaria transportada pel riu que, al seu torn, està vinculada amb la construcció dels embassaments de Flix (1948), Mequinensa (1966) i Riba-Roja (1969); amb l'ús intensiu d'aigua per a la irrigació; i amb l'increment de la cobertura vegetal de la conca hidrogràfica. Aquesta darrera causa, en el cas particular de la conca de l'Ebre, té el seu origen en l'abandonament de les activitats tradicionals d'aprofitaments forestals, pastures i cultius que s'intensifica a partir de la dècada de 1960 i 1970.

El volum d'aigua de l'Ebre ha disminuït un 15% en el darrer segle a causa de les regulacions de cabal (Valiela, 2006). A més, l'actual càrrega sedimentaria en el tram baix del riu és tan sols un 3% del volum transportat a principis de segle (Tena, Batalla, & Vericat, 2012; Vericat, 2005; Vericat & Batalla, 2006). Rodríguez-Santalla i Somoza (2019) alerten que les obres d'enginyeria hidràuliques han contribuït a la regressió de la punta del delta a un ritme de 55 m/any en el període entre 1957 al 1984. Jiménez (1996) fixava el retrocés global al delta en 22 m/any de mitjana des de l'inici del retrocés; mentre que Rodríguez-Santalla i Somoza (2019) eleven aquesta xifra a 30 m/any a la zona frontal. Al seu torn, la disminució en el subministrament de sediments agreuja el problema de subsidència que actualment és de l'ordre d'uns cm/any.

A més d'impedir l'aportament habitual de sediments, les preses regulen el cabal del riu i impedeixen les inundacions espontànies i crescudes extraordinàries que són, en bona part, responsables d'aportar grans quantitats de sediment a les platges. La sedimentació al delta compensaria els fenòmens naturals d'erosió i subsidència, a més dels efectes d'increment del mar vinculats al canvi climàtic (Ibáñez et al., 2010).

Ençà que el balanç sedimentari a la punta del delta és negatiu la morfologia deltaica s'ha vist influenciada per les corrents marins més que per l'aportació de sediments. Així, la forma de fletxa que presenta actualment el delta s'ha format gràcies als sediments erosionats del front dunar transportats pels corrents longitudinals. Per combatre l'erosió, l'administració de l'Estat a principis dels anys noranta va construir una duna artificial de 2 metres d'alçada al llarg de la barra del Trabucador. De llavors els temporals han destruït la duna artificial en nombroses ocasions que es regenera una i una altra vegada per evitar l'erosió definitiva de la barra (Sánchez-García et al., 2019).

3.1.2. Delta del Llobregat

El delta del Llobregat ocupa una superfície de poc menys de 100 km² i està envoltat per la Serra de Collserola i de Montjuïc, al nord, i el massís del Garraf al sud. Té un règim mareal d'entre 20 i 5 centímetres (Marqués, 1984), i està fortament influenciat pels vents de llevant de component sud-oest i est/nord-est que impliquen unes corrents de deriva litoral de component sud-oest d'uns 30 cm/s. Té un pendent molt baix i la seva horitzontalitat només queda interrompuda pels cordons dunars de primera línia de mar, darrera dels quals apareixen formacions de llacunes i maresmes per la manca de drenatge cap al mar.

El riu Llobregat neix al Prepirineu català central, a la Serra del Montgrony, i té un recorregut de més de 150 quilòmetres fins arribar al mar, on forma un delta d'uns 6.000 anys d'història (Gàmez, Simó, Vázquez-Suñé, Salvany, & Carrera, 2005; Marqués, 1984). El delta actual descansa sobre un conjunt detrític inferior format per varies crescudes lobulars pliocèniques el front dels quals es situa a uns 80 metres de profunditat i 12 quilòmetres de la línia de la costa actual (Simó et al., 2005). La seva progradació més

modera comença fa uns 3.000 anys i està vinculada a la fi de la transgressió Flandriana i a l'activitat humana que afavoreix el volum de sediments aportats pel riu a causa dels treballs de desforestació. La poca pendent del delta i la creació dels successius cordons sorrencs i dunars que limitaven entre terra i mar i més elevats que la resta del delta ha afavorit la creació de zones molt àmplies de llacunes i maresmes arreu del delta.

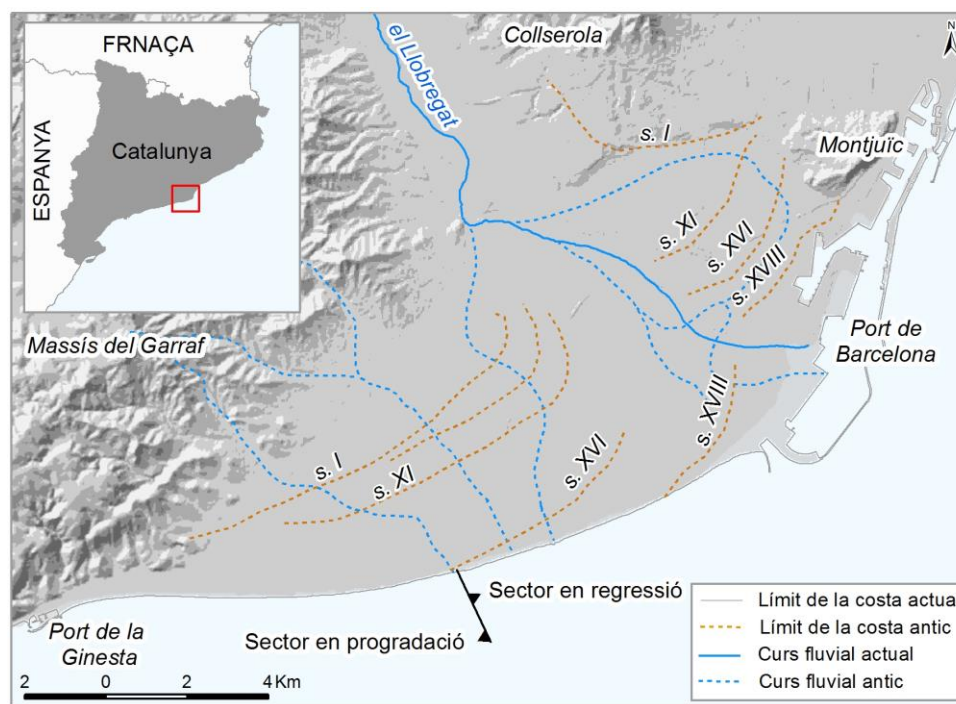


Figura 38. Evolució de la línia de costa del delta del Llobregat

Font: Modificat de Marquès (1984)

Marquès (1984) analitzà en profunditat l'evolució històrica del delta i constatà que la primera gran crescuda del delta modern té lloc els segles V – IV aC, moment en què s'inicien treballs de pastures que originen un aportació de sediments aigües avall del riu. Durant l'època Visigoda i l'Alta Edat Mitjana (Figura 38), entre els segles VI – VIII i els segles X – XIV respectivament, es produeixen els màxims volums de sediments associats a l'erosió de conques de drenatge vinculades a la tala de boscos. En aquests períodes d'avingudes es formaren barres sorrenques litorals paral·leles a la costa que confinaven una zona d'estanys salobres que s'anirien omplint amb les diferents avingudes i subministraments al·luvials. La progració de la costa creava noves barres paral·leles a mesura que s'anaven omplint les temps més antics, contribuint d'aquesta manera a l'avenç del delta mar endins. Les restes romanes trobades al delta situen la línia de costa en època romana (Figura 38) entre un 2 i 3 quilòmetres més endins del seu límit actual a l'alçada del Camí Ral de València (Marcos-Valiente, 1987).

En les darreres dècades, el delta del Llobregat està afectat per assentament o subsidència d'origen hidrostàtic. La sobreexplotació dels aqüífers del delta han comportat una subsidència d'entre 75 a 25 centímetres arreu del delta des de principis del segle XX fins el 1973 (Marquès, 1984). Malgrat el procés de subsidència que afecta el delta, actualment la línia de costa presenta zones regressives i zones progradants (Figura 38). El sector entre la desembocadura del riu Llobregat i el límit sud del municipi de Gavà està actualment en regressió (Banchini et al., 2009; Marcos-Valiente, 1987; Marquès, 1984; McLachlan & Defeo, 2018a). Aquest retrocés de la línia de la costa es deu a la construcció del port de Barcelona i a la canalització del tram final del Llobregat que creen refracció de les onades i impedeixen

el transport longitudinal de sediments des de les costes del Maresme a la zona del delta del Llobregat (Banchini et al., 2009). A sotacorrent del port es creen processos erosius per la falta de transport sedimentari pel corrent de deriva i per la refracció de les onades que també creen erosió (Figura 38). També s'atribueix la disminució de sediments aportats pel riu a la construcció de l'embassament de la Baells el 1976 i a les activitats extractives al llarg del curs fluvial. Per últim, Marcos-Valiente (1987) també atribueix l'erosió de la costa a la destrucció dunar lligada al procés urbanitzador i als usos turístics ja que suposa la pèrdua de l'element més rellevant per al manteniment de l'equilibri del sistema platja-duna agreujant el problema de l'erosió.

L'erosió tan acusada de les platges situades immediatament al sud del port de Barcelona van impulsar la redacció de la declaració d'impacte ambiental sobre el Pla Director del port de Barcelona (BOE, 2005) que declarava la necessitat de regenerar artificialment la zona de manera periòdica.

En canvi, la zona més meridional del litoral del delta del Llobregat, per sota del límit sud de Gavà, es troba en marcada progradació (Banchini et al., 2009). La construcció del port de la Ginesta el 1986 hauria actuat com a barrera del transport longitudinal i hauria creat una cèl·lula litoral entre aquest port i el de Barcelona. La part sud de la cèl·lula rep bona part del sediment transportat pel corrent de deriva, motiu pel qual el seu creixement a arribat a ser d'entre 20 i 25 metres l'any (Marcos-Valiente, 1987). Segons Marcos-Valiente (1987) i Simó et al. (2005) la regeneració artificial constant de les platges del Maresme i la constant erosió que sofreixen pels temporals de llevant, podria contribuir positivament al balanç sedimentari del delta que ja no veuria la seva font d'entrada de sorres del riu sinó de bona part d'aquestes sorres erosionades del Maresme que acabarien traspasant la barrera del port de Barcelona i instal·lant-se el delta del Llobregat.

3.3.3. Delta de la Tordera

El delta actual ocupa poc més de 4 km² i descansa sobre diverses formacions de lòbuls deltaics formats a partir de la darrera desglaciació (Serra, Valois, & Parra, 2007; Vila & Serra, 2015). Al llarg dels darrers segles el delta ha anat creixent i modelant-se fins adoptar la forma lobular típica dels deltes de sorres gruixudes dominats per la dinàmica fluvial i l'onatge (Vila & Serra, 2015). Les platges del delta de la Tordera són sorres mitjanes i gruixudes, d'entre 0,3 mm i 0,8 mm de diàmetre (Figura 30), i tan sols una petita part del delta està constituïda per arenas fines (Jiménez, Sardá, Serra, Pintó, & Guillén, 2007). Les sorres que arriben al mar a través de la Tordera alimenten les platges de Blanes i de tota la Costa del Maresme fins arribar al riu Besòs (Vila & Serra, 2015).

El delta de la Tordera ha experimentat retrocés ençà que l'extracció d'àrids a partir dels anys seixanta va alterar notablement el balanç sedimentari del delta, abocant-lo a una accelerada regressió (Jiménez, Gracia, Valdemoro, Mendoza, & Sánchez-Arcilla, 2011; Rovira et al., 2005; Sardá, Conde, Casadesús, Sánchez, & Pablo, 2013). Entre els anys seixanta i vuitanta s'extreuen aproximadament 3 milions de metres cúbics de graves i sorres, el que comportà un descens mitjà del riu de 1,5 metres (Jiménez et al., 2007). També, la canalització de la de la desembocadura del riu Tordera per un sol desguàs, contribueix a que els pocs sediments que arriben al mar es perdin de manera permanent a les aigües més profundes (Jiménez et al., 2007). Antigament, part del cabal s'adreçava cap al nord fins morir, a través de la riera de la Vall d'en Burg, a les aigües de la platja de Blanes. Aquests curs fluvial alimentava amb sorres les platges des d'aquest emplaçament fins la punta de la Tordera. A més, a mitjan anys noranta s'extreu prop d'un milió de metres cúbics de la platja submergida de s'Abanell, situada al nord de l'emboadura, i que foren utilitzats per a la regeneració artificial de bona part de les platges del Maresme nord (Jiménez et al., 2007). Aquesta extracció desestabilitzaria l'intercanvi de sediments entre la platja submergida i emergida i en dificultaria la regeneració natural de la platja emergida després dels temporals de mar.



Figura 39. Sector sud del delta de la Tordera després dels temporals del gener de 2017: A – Comparativa entre la platja de la Punta de la Tordera a la primavera de 2016 (A1) i el gener de 2017 (A2); B – Punta de la Tordera el febrer de 2017. En vermell s'ha marcat el punt en comú de les tres fotografies. Durant els temporals del gener de 2017 la llevantada va erosionar bona part de la platja i va enderrocar construccions que s'emplaçaven damunt d'aquesta. La construcció artificial de dunes que tingué lloc el 2016 per la Direcció General de Costes (A1) no va poder impedir que els efectes del temporal ultrapassessin els límits de la platja i colguéssim de sorra i fang els carrers (sector oriental de la imatge A2).

Font: Visor de l'evolució de la costa (ICGC, 2019)

Amb tots aquests factors, la tendència regressiva del delta és quelcom evident que afecta les platges i els més de 15 càmpings que s'emplacen a la zona deltaica. Tant és així que les platges situades al voltant de l'embocadura de la Tordera són un dels principals punts d'afectació dels temporals de llevant (Jiménez et al., 2018; Sanuy et al., 2018). Durant aquests episodis les platges s'erosionen fortament i, sovint, els béns materials situats immediatament després de la platja o damunt d'aquesta, es veuen fortament danyats (Figura 39). Davant d'aquesta problemàtica s'ha optat per la construcció d'esculleres protectores (Figura 39) i per la regeneració artificial sistemàtica de les platges.

3.3.4. Planes deltaiques de l'Empordà

Les planes de l'Alt i el Baix Empordà estan alimentades per quatre rius: la Muga i el Fluvià, a l'Alt; i el Ter i el Daró, al Baix (Figura 40). Aquests cursos fluvials són relativament curts però de molt pendent, fet que afavoreix el notori transport de sediment al llarg del seu recorregut fins a desembocar al mar. L'alta disponibilitat històrica de sediment i la barrera natural en el transport longitudinal formada pels massissos del Montgrí i Begur, respectivament, han originat dos compartiments sedimentaris o cèl·lules litorals independents, el golf de Roses i la badia de Pals (Figura 40).

A les terres empordaneses sovint hi bufa la tramuntana, un vent amb direcció predominant nord/nord-oest - sud/sud-est (Figura 30) molt òptim per al moviment d'arenes ja que és

fort i sec. Tot i això, la orientació transversal oest-est que pren la xarxa de drenatge al creuar les planes empordaneses respecte els vents dominants, frena el transport de sorres nord-sud impulsades per la tramuntana i dificulta en bona part el desenvolupament dunar. A més, la direcció dels vents dominants respecte la línia de la costa (obliqua de terra cap a mar), no afavoreix la formació dunar a les platges ja que les sorres de la platja seca són empeses cap al mar novament en episodis de temporals de vent.

Seguint la mateixa tendència que els deltes esmentats, els arcs litorals de l'Empordà han guanyat terreny al mar progressivament al llarg de del darrer mil·lenni (Figura 40) (Rambaud, 2005). Els canvis del nivell del mar, el clima i els usos del sòl a les capçaleres de les muntanyes que subministren sediment als rius ha tingut un paper important en el rebliment de les planes al·luvials. Montaner (2010) constata com els successius ambients de llacunes i cordons litorals de terra cap a mar són el viu testimoni d'aquesta progradació de les planes deltaiques. La formació d'aquestes planes i badies han estat resultat de factors naturals i antròpics. Per una banda, la progradació de les badies respon als períodes de grans subministraments sedimentaris que van causar avulsions i al·luvions segons la intensitat de les avingudes (Rambaud, 2005). El volum més generós d'aportació sedimentària va ocórrer des de l'Òptim Climàtic Medieval (s. IX - XIV) fins a finals de segle XX, període durant el qual va tenir lloc tales forestals per conversió dels boscos en prats i pastures, per al carboneig o la mineria. D'altra banda, més recentment, es van eixugar maresmes i llacunes a fi de transformar-les en terres conreables (Marqués & Julià, 2005).

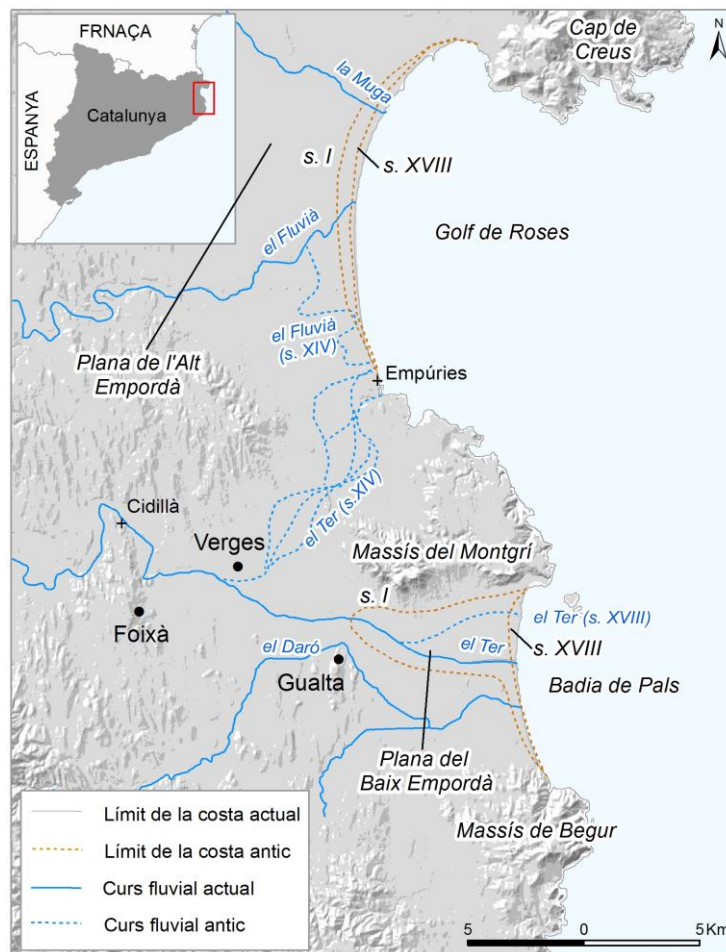


Figura 40. Evolució de la línia de la costa i dels cursos fluvials de les planes deltaiques de l'Empordà

Font: Modificat de Rambaud (2005) i de Montaner (2010)

Justament va ser durant l'Òptim Climàtic Medieval que es va iniciar el desenvolupament dels cordons dunars a primera línia de mar gràcies a desforestació de les capçaleres de la conca fluvial (Marqués & Julià, 2005; Montaner, 2010). També a partir de l'any 1300 i durant els segles posteriors es van originar les dunes interiors de les planes empordaneses (Marqués & Julià, 2005), coincidint amb el desviament dels rius Fluvià i Ter i amb la Petita Edat de Gel (s. XIV – XIX). La poca inclinació del terreny en el tram baix del riu afavoria la creació múltiples braços a l'antiga desembocadura situada al golf de Roses, on es dipositaven quantitats ingents de sediment. També al segle XVIII s'aprovà la rectificació definitiva del darrer tram del riu ter per combatre les inundacions constants a les planes empordaneses, moment des del qual la resta de braços deixen de ser funcionals. És en aquest moment quan el vent mobilitza novament els materials aportats pels rius de l'antic braç nord del Ter i forma les grans muntanyes de sorra de Foixà, Verges i Gualta (Cros & Serra, 1990, 1993).

L'última transformació del litoral empordanès es va succeir a mitjans del darrer segle quan el territori sofreix un canvi accelerat pel canvi d'usos i cobertes del sòl, tant a les zones de muntanya com al litoral (Montaner, 2010). Les activitats tradicionals de silvicultura i pasturatge s'abandonen a causa d'un èxode rural cada vegada més marcat. Conseqüentment, les masses forestals cobriran ràpidament les capçaleres dels rius Ter, Muga i Fluvià, el que aviat es traduiria en la disminució del transport sedimentari aigües avall dels cursos fluvials. També a la segona meitat del segle XX es produiria la implementació d'embassaments i transvasament que afectaran el riu Ter i que contribuiran a disminuir les inundacions a la plana de l'Empordà (Montaner, 2010), però també l'aportació de sorres a les desembocadures. Així mateix, l'arribada del turisme de masses a la Costa Brava transformaria dràsticament el paisatge natural de llacunes i maresmes de primera línia de mar. La construcció de marines i complexos turístics arran de mar sense l'aplicació de criteris de sostenibilitat amb el medi ambient i els espais litorals contribuiran també al retrocés de la costa (ICC, 2010). A diferència dels deltes però, la menor exposició dels golfs i badies és el que els ha mantingut més a resguard de l'erosió costanera.

4. Metodologia



A continuació es justifica breument el punt de partida a partir del qual es desenvolupa la metodologia emprada en aquesta tesi doctoral, en relació a cadascun dels objectius generals:

- Objectiu general 1: per a identificar i classificar les dunes del litoral català s'ha partit de la classificació tipològica de morfologies dunars presentada per Pintó et al. (2014) i per Pintó i Garcia-Lozano (2016), que s'ha revisat, actualitzat i ampliat per a la totalitat de platges i formacions dunars de Catalunya.
- Objectiu general 2: per a analitzar la transformació històrica del paisatge dunar a Catalunya s'ha continuat la recerca de Pintó i Panareda (2007) i de Pintó i Garcia-Lozano (2016), de les quals s'ha incrementat el nombre fonts històriques consultades que han permès ampliar l'anàlisi paisatgística a un nombre més elevat de platges.
- Objectiu general 3: per a desenvolupar un conjunt d'indicadors que permetin estudiar de manera integrada els sistemes platja-duna del litoral català i el seu potencial de restauració dunar, s'ha adaptat una metodologia basada en llistes de control (*checklist*) destinada a quantificar la vulnerabilitat dels sistemes dunars (Bodéré et al., 1994, 1991; Davies et al., 1995; García-Mora et al., 2001; Laranjeira et al., 1999; Williams et al., 1994). Altres autors han adaptat aquest mateix mètode a varis contextos territorials (Cicarelli et al., 2017; Martínez et al., 2006; Peña-Alonso et al., 2017; Peña-Alonso, Gallego-Fernández, et al., 2018); mentre que en aquesta tesi doctoral s'adapta aquesta eina per a estudiar, l'estat geomorfològic i ecològic de les formacions dunars, així com quantificar el potencial de restauració dunar de les platges del litoral català.

Seguidament es presenten tres subapartats, corresponents als tres objectius generals, on es detallen els recursos, les fonts d'informació i les tècniques d'anàlisi emprats per a abordar els objectius de recerca.

4.1. Classificació i identificació de sistemes platja-duna

Per tal d'identificar totes les morfologies dunars del litoral català, prèviament ha estat necessari localitzar totes les platges que componen la costa catalana. Amb aquesta finalitat, s'han utilitzat ortofotomapes de l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC, 2014a, 2015b, 2016b) disponibles en WMS (Web Map Server) que s'han carregat a un programari SIG (Sistemes d'Informació Geogràfica) i s'han digitalitzat en forma de polígons. Els criteris seguits per a la delimitació i nomenclatura de les platges han estat els següents:

- **Delimitació:** les platges contínues i llargues (que formen una sola unitat des del punt de vista geomorfològic) s'han seccionat d'acord amb la divisió que estableix l'ICGC. Així mateix, els casos en què una mateixa platja està interrompuda pel límit municipal, el polígon s'ha dividit formant dues unitats. Tanmateix, aquelles platges que històricament han format una sola entitat, però que actualment han quedat dividides per la remodelació de la costa (erosió de la costa o implementació d'espigons que segmenten les platges), han estat comptabilitzades per separat, formant tants polígons com sorrals actuals. Altrament, les platges molt llargues que ocupen la totalitat del terme municipal, com és el cas de Pals, Gavà o Castelldefels, s'han fragmentat per tal de definir acuradament la presència i tipologies dunars a cada sector.

Per últim, les platges que comprenen més d'una tipologia d'usos del sòl al seu entorn, s'han segmentat d'acord amb l'actual patró d'ocupació del sòl del voltant de les platges. S'ha realitzat aquesta divisió per evitar que la mateixa platja computi més d'una vegada si es troba envoltada per diversos usos del sòl simultàniament. Això ens ha permès una quantificació més acurada dels canvis ocorreguts a la segona meitat del segle passat pel que fa a les cobertes i usos del sòl (aspectes tractats en el canvi paisatgístic de l'entorn de la platja). A més, el fet de tenir la mateixa divisió de platges per el període 1890 – 1960 com l'actual, ha permès determinar quina evolució històrica han sofert les platges en cada cas, informació que s'ha afegit a la taula de l'Annex 6.

- **Nomenclatura:** la terminologia de les platges s'ha establert per mitjà de la toponímia fixada per l'ICGC, així com l'establerta per treballs i publicacions locals de l'àrea d'estudi. Els petits sorrals mancats de nom se'ls ha atribuït un topònim proper segons la denominació recollida als mapes topogràfics de l'ICGC.

D'aquesta manera, s'ha comptabilitzat les platges i se n'ha identificat els sistemes dunars. En concret, la presència de dunes actual s'ha determinat a partir de la fotointerpretació d'ortofotomapes d'alta resolució a escala 1:2.500 i 1:1.000 realitzats per l'ICGC durant la primavera i l'estiu de 2014 i 2015 (ICGC, 2014a, 2014b, 2015b, 2015c). En els casos que les formacions dunars no s'han pogut determinar amb veracitat, s'han realitzat diferents campanyes de treball de camp durant la primavera i l'estiu del període 2016 - 2019. El treball de camp ha servit per verificar la presència de dunes i detallar els paràmetres relatius a la superfície per poder-los cartografiar detalladament mitjançant la darrera versió de codi obert QGIS. Així mateix, s'ha mesurat l'alçada mitjana de les dunes utilitzant un mesurador làser Disto D510 de la marca Leica; i s'han realitzat mostres de vegetació a través de transectes longitudinals al llarg de tots els hàbitats dunars presents en cada cas.

Aquesta tesi presenta una classificació geogràfica de les morfologies dunars de la costa catalana recolzada en dos elements clau: la geomorfologia i la vegetació. Seguint aquest dos criteris, s'actualitzarà la proposta tipològica basada en la zonificació d'ambients dunars i en la seva morfologia descrita per Pintó i Garcia-Lozano (2016).

Les classificacions morfològiques i geomorfològiques en ambients dunars són del tot abundants, tant en platges urbanitzades (Nordstrom, 2000; Nordstrom et al., 2000), com en platges naturals (Bird, 1990; Carter, Nordstrom, et al., 1990; Hesp, 1988, 1991, 2002; Psuty, 1989). La classificació presentada comprendrà a les diferents de dunes primàries i secundàries descrites anteriorment (Figura 6), així com també els criteris topogràfics establerts per Goldsmith (1985b, 1985a) que descriu les dunes en base a l'obstacle al voltant del qual es desenvolupen (Figura 15).

Pel que fa la vegetació, les comunitats arenícoles i halòfiles dels sistemes litorals sorrencs estan condicionats per un seguit de factors com el microrelleu, el substrat, el vent, la salinitat, la humitat i la temperatura (Figura 5). En aquest treball s'ha seguit la classificació de les comunitats vegetals que distingeix entre dos sectors (Figura 17), el de les comunitats arenoses de sistemes platja-duna, on el substrat és estrictament sorrenc i mòbil, i les comunitats situades a la rereduna, on el terreny és més compacte i llimós (Acosta et al., 2007; Attorre et al., 2013; Costa, 1987; de Bolòs, 1967; Doing, 1985; Folch, 1981; Géhu, 1985; Marcenò et al., 2018). Les plantes que componen aquestes comunitats estan àmpliament detallades en treballs d'àmbit local i regional que comprenen els principals sectors dunars de la costa catalana (Curcó, 1990, 1996, 2001, 2007; de Bolòs, 1967; Germain & Pino, 2018; Gesti, 2006; González et al., 2016; Perdigo & Papió, 1985).

Seguint els dos criteris esmentats s'ha establert una tipologia dunar per les dunes del litoral català segons el seu desenvolupament morfològic i les comunitats vegetals que hi habiten. També s'han calculat alguns paràmetres dels sistemes platja-duna, com ara el tipus de sediment, la llargada, l'amplada i l'extensió tant de platges com de dunes. Tota aquesta informació ha estat compilada i cartografiada per mitjà de SIG.

En el marc d'aquesta tesi doctoral, la informació generada en relació als sistemes platja-duna de Catalunya (identificació i localització de totes les platges i dunes, classificació dels tipus de dunes, amplada, llargada i tipus de sediment a les platges), ha estat incorporada a un portal web en forma de visor: "Platges i dunes de Catalunya" (disponible a l'enllaç: <http://www.platgesonline.cat/>). Aquesta eina fa accessible al públic una part dels continguts generats en aquest treball d'investigació, en concret els relatius a la classificació i identificació dels sistemes platja-duna del litoral català (que responen a l'objectiu 1 d'aquesta tesi: identificar i classificar les dunes del litoral català).

Aquest portal online respon a la voluntat de divulgació científica per part del LAGP en relació a la recerca duta a terme pels seus membres investigadors. Així doncs, el visor compila altra informació d'interès estudiada pels membres del grup com ara les espècies vegetals de cada sistema dunar o el perfil paisatgístic dels diferents trams de costa. Part de les tasques realitzades durant aquest treball d'investigació han consistit a actualitzar i ampliar els continguts del visor "Platges i dunes de Catalunya", tan la cartografia, com la seva informació associada (consulteu el portal web o vegeu la Figura 59 per a més detall).

Aquest portal web ha estat elaborat dins del marc del projecte de recerca en el qual s'emmarca aquesta tesi: "Explorando la resiliencia de las playas dentro del proceso de cambio global: riesgos y oportunidades" (Plan nacional de I+D 2013-2016). A nivell tècnic el visor ha estat desenvolupat pel Servei de Sistemes d'Informació Geogràfica i Teledetecció (SIGTE) de la Universitat de Girona.

4.2. Evolució històrica dels sistemes platja-duna i el seu entorn

4.2.1. Sistemes dunars i usos del sòl de l'entorn de la platja en el passat

Per tal d'estudiar la presència històrica de dunes a la costa catalana, s'han identificat aquelles platges que presentaven algun tipus de morfologia dunar (Figura 6) entre 1890 i 1960. S'ha comparat la presència de sistemes dunars durant el període que comprèn els anys finals del segle XIX i la primera meitat de segle XX, amb la presència de dunes en l'actualitat (2014 - 2015).

El motiu pel qual s'ha escollit aquest període de temps es deu als canvis de dinàmica econòmica i social que van seguir els anys seixanta del segle passat. Durant el període 1940-60 l'economia nacional estava basada en un model autàrquic que condicionà fortament el desenvolupament econòmic i social del país. Des d'aquest moment cap endavant, l'economia espanyola es va liberalitzar i obrir cap a l'exterior tot superant el període autàrquic previ i establint una sèrie de *Planes de Desarrollo* (1963-75) que articularien el desenvolupament d'inversions públiques i privades arreu del país, ja fos des d'un punt de vista urbanístic, industrial o de dotació d'infraestructures. Aquest moment de desenvolupament econòmic va suposar l'inici del turisme de sòl i platja que, al seu torn, conduiria el país sencer a un canvi paisatgístic i territorial de gran envergadura (Tamames, 2005).

Aquest desenvolupament es va perllongar algunes dècades i només es va veure interromput pels moments de crisi econòmica que afectaven al país. Com a resultat de la crisi econòmica del 2008, el creixement econòmic del país es va frenar dràsticament. Des de llavors, el procés urbanístic de caràcter massiu que havia regnat al litoral espanyol des de feia dècades es va paralitzar, juntament amb altres indicadors de bonança econòmica. Per aquest motiu s'ha considerat oportú comparar el paisatge dunar anterior el 1960 amb l'actual. Aquesta comparativa permet quantificar l'impacte que ha tingut el creixement econòmic *desarrollista* i *postdesarrollista* vers els sistemes dunars costaners.

Pel que respecta l'altre límit temporal escollit, s'ha de constatar que les raons de disponibilitat documental han estat un element clau en aquesta tria. El cert és que la majoria de documents fotogràfics antics disponibles als arxius històrics són originaris de les primeres dècades de segle XX (Taula 6). En canvi, els documents bibliogràfics i cartogràfics retrocedeixen unes dècades més enllà. Malgrat l'antiguitat dels textos i mapes, aquests només fan referències a la presència dunar en sectors de dunes de gran entitat. És per aquest motiu que la comparativa entre la presència dunar històrica i els usos del sòl de l'entorn de les platges s'ha realitzat entre el període 1890 i l'actualitat. Tot i això, els textos i mapes anteriors aquest moment s'han utilitzat per analitzar i discutir l'evolució dunar dels grans sistemes dunars de la regió catalana localitzats eminentment al voltant dels deltes i planes deltaïques.

Taula 6. Fonts d'informació consultades per a la reconstrucció històrica del paisatge dunar de la costa catalana entre 1890 i 1960

RECURSOS		FONT
Fotogràfic	Fotografies convencionals	Més de 100 col·leccions de fotografies històriques registrades entre (1890 - 1960)
		Col·lecció Josep Gaspar Serra (1929)
	Fotografies aèries	Vol Americà sèrie A - 1:33.000 (1946-47) Vol Americà sèrie B - 1:33.000 (1956-57)
Cartogràfic	Mapes topogràfics i geològics	<i>Mapa Topográfico Nacional</i> - 1:50.000 (1857-1968)
		Mapa Geològic i Topogràfic de la Província de Barcelona - 1:40.000 (1891)
		Mapa Topogràfic de Barcelona - 1:100.000 (1918)
		Esquema geològic del cap de Salou (1923)
Escrit	Monografies regionals	Geografia General de Catalunya (1908-1918)
		El paisatge de Catalunya (1928)
		Resum de geografia de Catalunya (1928-1936)
	Flores	<i>Flora de la duna barcelonesa de Castelldefels</i> - Hermano Sennen (1928)
		<i>Flora de la Cordillera Litoral Catalana</i> - Pere Montserrat (1955-1956)
	<i>Comunidades vegetales de las comarcas próximas al litoral entre los ríos Llobregat y Segura</i> - Oriol de Bolòs (1967)	

El mètode utilitzat per identificar dunes en el passat ha consistit eminentment a consultar fotografies convencionals històriques (Figura 41) i fotografies aèries antigues (Figura 42). Per determinar l'extensió i l'entitat de les dunes més conegudes i desenvolupades, la informació present als mapes i als textos ha estat certament rellevant. En canvi, per determinar els usos del sòl de l'entorn de les platges que presentaven dunes en el passat, s'ha procedit a observar les fotografies aèries històriques del vol americà de 1956-57 (Servicio Geográfico del Ejército & Army Map Service, 1957).

Finalment, a les platges encaixades que avui dia presenten algun tipus de morfologia dunar, s'ha considerat que hi ha prou evidència per assumir la presència de dunes en el passat, malgrat no trobar documents que així ho corroborin. Aquest fet es dona a un grup reduït de platges situades en cales al llarg de la costa catalana, on el paisatge s'ha mantingut a resguard dels efectes destructius del turisme de masses.

Fotografies antigues

S'han recopilat prop de 2.500 fotografies històriques de les platges de Catalunya procedents de més de 100 fons o col·leccions pertanyents a 15 institucions públiques i privades (Annex 1), de les quals més de 1.000 mostraven algun tipus de morfologia dunar. Algunes fotografies s'han compilat de monografies locals o regionals, com les publicacions de *La Costa Brava abans de la Costa Brava* (Santaló, 2008), *Costa Brava panoràmica* (Suquet, 2010), *Els inicis de la targeta postal a Catalunya, Andorra i Balears* (Tarrés & Pla, 2012), *Catalunya 100 anys enrere* (Boix & Gustems, 2008), així com la col·lecció de llibres de diverses localitats recollida sota el títol de "L'Abans" (Col·lecció L'Abans, 1996-2016). En nombroses ocasions, aquestes fotografies són paisatges utilitzats com a postals produïdes

per fotògrafs reconeguts de l'època com Louis Roisin (París, 1884-Barcelona, 1943), Àngel Toldrà (Barcelona, 1867-1956), Adolfo Zerkowitz (Viena, 1884 - Barcelona, 1972), a la mateixa tasca fotogràfica del geògraf Pau Vila (Sabadell, 1881 - Barcelona, 1980), i molts altres fotògrafs locals i estrangers. Aquestes il·lustracions han estat crucials per localitzar formacions dunars al llarg del litoral. La major part de les imatges (Taula 7) corresponen a les platges més populars, generalment situades a la Costa Brava, de gran valors escènics o properes a nuclis urbans. La Figura 41 visualitza alguns exemples gràfics del canvi paisatgístic reproduït en alguns sectors de la costa gironina. Bona part de les fotografies obtingudes corresponen a la mateixa platja observada des d'angles diferents. La bona qualitat gràfica que, en general, presentaven els suports gràfics ens ha permès identificar dunes. La Taula 7 mostra el número de fotografies analitzades per fer la reconstrucció històrica de presència dunar al llarg de la costa catalana.

Taula 7. Documents fotogràfics consultats per províncies i pel conjunt de la costa catalana

	Girona	Barcelona	Tarragona	Catalunya
Fotografies convencionals	1,246	747	459	2,452
Fotografies aèries obliqües	70	20	11	101
Fotografies aèries verticals	44	35	54	133

Igualment, s'ha fet una consulta exhaustiva de les fotografies aèries, verticals i obliqües, existents a l'àrea d'estudi (Figura 42). Destaquen molt especialment, les fotografies aèries verticals en blanc i negre del vol americà, tant de la sèrie A com de la sèrie B (Servicio Geográfico del Ejército & Army Map Service, 1947, 1957), que cobreixen la totalitat de l'àrea d'estudi a escala 1:33.000. Aquests suports gràfics han estat àmpliament examinats per contrastar la presència de morfologies dunars en platges llargues i amples que avui dia estan completament urbanitzades. L'escala poc detallada de la sèrie de fotografies aèries corresponents al vol americà, han fet impracticable el reconeixement de sistemes dunars en platges de petites dimensions. D'altra banda, la col·lecció de fotografies aèries verticals de Josep Gaspar i Serra (Gaspar, 1929), que conté més de 100 fotografies en blanc i negre de l'àrea d'estudi, s'ha consultat detalladament. La Figura 42 il·lustra alguns exemples de fotografies aèries verticals, mentre que la Taula 7 quantifica les fonts documentals gràfiques consultades per a cada província que en el cas de les fotografies aèries obliqües també és notablement superior per a la costa de Girona.



Figura 41. Canvis en el paisatge dunar. A – Fotografies preses entre 1910 i 1940; B – Fotografies actuals (estiu 2017). Vistes de Sa Riera (1); Aiguablava (2); Cala Fosca (3); i Santa Cristina (4)

Autors: Desconeguts

Font: Centre de Recerca i Difusió de la Imatge de Girona. Fons Valenti Fragnoli (1) i Col·lecció Joan Cortés (2 i 4); Institut d'Estudis Fotogràfics de Catalunya (3)



Figura 42. Comparativa fotografies aèries verticals de 1956-57 (A) amb les de 2015 (B). 1 – Platja de la Móra (Tarragona); 2 – Platja de la Casa dels Lladres (Mont-roig del Camp)

Font: ICGC (2015b) i Servicio Geográfico del Ejército i Army Map Service (1957)

En aquest punt, cal mencionar les limitacions de la tècnica d'anàlisi d'imatges convencionals i aèries. Quan la panoràmica de la imatge abasta grans distàncies i les morfologies dunars són incipients o vagament desenvolupades, la seva presència no es pot verificar adequadament ja que es poden confondre amb terraplens semi-vegetats o altres elements com dipòsits de restes vegetals o acumulacions de brossa d'origen divers. A principis de segle XX les platges eren utilitzades per activitats relacionades amb la pesca i no eren un espai que es mantenia net, ans al contrari, els materials sobrants quedaven relegats a la platja alta per efecte de les onades. Una altra restricció de la tècnica de fotointerpretació que cal tenir en compte és que quan la fotografia només contempla una secció de la platja, la presència dunar es pot determinar, però no es pot dir amb certesa la totalitat de l'àrea ocupada per les morfologies dunars. Finalment, hi ha imatges que presenten una qualitat molt poc definida, el que implica que les morfologies dunars no es poden verificar amb certesa. En aquests casos, la consulta de flores de l'àrea d'estudi ha estat crucial per a determinar la presència dunars. La presència d'espècies pròpies de les comunitats del jull de platja (*Agropyretum mediterraneum*) i del borró (*Ammophiletum arundinaceae*) han ajudat a determinar si la vegetació que s'observava a les imatges es tractava de vegetació dunar o no. En la resta de casos, no s'ha pogut constatar l'existència de dunes se n'ha descartat la seva presència.

Mapes històrics

Per determinar la presència de dunes en el passat també s'ha utilitzat el suport gràfic de mapes topogràfics i temàtics antics. El criteri utilitzat per atribuir l'existència dunar a partir de materials cartogràfics de petita escala ha consistit a consultar la categoria de *dunes* a la llegenda dels mapes. En canvi, en plànols o mapes topogràfics de gran escala s'han identificat les corbes de nivell arran de mar que formaven monticles consecutius damunt la platja, malgrat que no s'especificà necessàriament la presència dunar a la llegenda.

Concretament, s'han consultat les primeres edicions dels fulls que componen el Mapa Topogràfic Nacional produït durant el període 1857 – 1968 i compilats a l'Atlas Topogràfic-Històric de Catalunya (ICC, 2012). Els fulls d'aquesta col·lecció donen cobertura a la totalitat de la costa catalana durant el període 1918 – 1945. Altres mapes antics, atles i esbossos

precedents de la Cartoteca Digital de l'ICGC (ICGC, 2015a) han estat examinats en detall, així com també s'ha considerat cartografies incloses en documents bibliogràfics. Amb això, s'ha identificat dunes en els següents materials: al Mapa Geológico y Topográfico de la Provincia de Barcelona a escala 1:40.000 (Almera & Brossa, 1891); al Mapa Topogràfic de Catalunya a escala 1:100.000 (SGMC & IEC, 1918); a l'esquema geològic del cap de Salou (Bataller & Vilaseca, 1923); a l'esquema geològic del delta del Llobregat a escala 1:2.000 (Chevalier, 1928); i en una cartografia realitzada per Baños de Castelldefels S.A. dins de l'expedient d'Obres Públiques de 1930 per delimitar la zona marítim-terrestre previ a la fase d'urbanització (Baños de Castelldefels S.A., 1930).

Documents bibliogràfics

Finalment, per localitzar sistemes dunars en el passat, s'han consultat diferents textos, com ara els relats inclosos a les monografies regionals publicades a principis de segle passat, com ara la *Geografia General de Catalunya* de Carreras Candi (1908-1918), *El paisatge de Catalunya* de Chevalier (1928), i el *Resum de geografia de Catalunya* de Pau Vila (1928) publicat en varis volums. Tots aquests treballs cobreixen la totalitat del territori català i ofereixen una bona síntesi del coneixement existent en el període de publicació.

Per últim, la consulta de flores en les regions litorals ha permès identificar la vegetació característica dels sistemes platja-duna (indicada a la Taula 5) i determinar-ne la presència dunar. En concret, s'ha consultat la *Flora de la Cordillera Litoral Catalana* de Pere Montserrat (1955) les *Comunidades vegetales de las comarcas próximas al litoral entre los ríos Llobregat y Segura* d'Oriol de Bolòs (1967), i la *Flora de la duna barcelonesa de Castelldefels* de Sennen (1928).

No menys rellevant, ha estat la consulta de treballs anteriors al 1890 que, per bé que quedin fora del període analitzat en aquest treball, ens han permès d'analitzar l'evolució històrica de les principals morfologies dunars existents a Catalunya i discutir-ne els aspectes més rellevants. Destaquen els treballs de finals de segle XVIII i segle XIX realitzats per Francisco de Zamora (Cuenca, 1757-1812) i Pascual Madoz (Pamplona, 1806 - Gènova, 1870) que constitueixen una font d'informació valuosa sobre els principals trets geogràfics d'aleshores. El *Diccionario geográfico-estadístico-histórico de España* (1846-50) és un inventari sobre els aspectes demogràfics, històrics i territorials on es detallen els recursos i les activitats econòmiques de cadascun dels municipis espanyols expressat per ordre alfabètic. També el *Diario de los viajes hechos en Cataluña* (c. 1790) constitueix un relat interessant basat en els cinc viatges que el mateix Zamora va efectuar a Catalunya on va descriure els elements més característics del paisatge i va recollir els trets més rellevants de l'acció humana sobre el territori. Durant aquests viatges l'autor va realitzar un conjunt de qüestionaris als membres més destacats de les autoritats locals, la resposta de les quals va servir per dibuixar la situació de l'època i detectar les necessitats de cadascuna de les províncies.

4.2.2. Presència actual de dunes i usos del sòl de l'entorn de les platges

Per tal de comparar el paisatge dunar entre el 1890 - 1960 amb l'actual, s'ha identificat totes les platges que avui dia presenten algun tipus de morfologia dunar. Així mateix, amb l'objectiu d'analitzar el canvi d'usos del sòl de l'entorn de les platges que allotjaven dunes en el passat, s'ha utilitzat ortofotomapes disponibles a l'ICGC (ICGC, 2014a, 2015b).

4.2.3. Anàlisi de les dades

Una vegada s'ha localitzat les platges que allotjaven morfologies dunars en algun moment entre 1890 i 1960, s'ha analitzat el tipus de transformació que els sistemes dunars han sofert en cada cas. El tipus de canvi s'ha establert en base a la presència o absència dunar i s'han classificat en tres categories:

1 - Desaparició dunar: aquesta casuística es dona en els casos on les fonts històriques han permès detectar que avui dia no queda ni rastre de les morfologies detectades en les fonts històriques consultades. Aquest tipus de canvi paisatgístic queda recollit a tall d'exemple a la Figura 41, la Figura 42.1, la Figura 43 i la Figura 63.

2 - Disminució de l'hàbitat dunar: la comparativa de les imatges històriques amb la situació actual ha permès establir quines morfologies dunars han disminuït de superfície. Mitjançant les fonts històriques gràfiques no ha estat possible determinar la reducció volumètrica de les morfologies i, per tant, en aquesta categoria només s'ha fet referència al decreixement de l'extensió que ocupaven les dunes. La Figura 42.2 i la Figura 44 són bons exemples de disminució de l'hàbitat dunar.

3 - Canvis poc rellevants en l'hàbitat dunar: es tracta d'indrets que avui dia presenten un aspecte gairebé igual, o molt semblant, del que presentaven entre el període 1890 i 1960. Cal ressaltar que els sistemes dunars són formes de relleu molt dinàmiques i canviants que, malgrat presentar un aspecte similar al que tenien anys enrere, sempre mostren certes divergències visuals inevitables al pas del temps. S'inclouen en aquesta categoria totes aquelles platges les morfologies dunars de les quals presenten canvis poc rellevants, sempre que aquests canvis no incloguin una reducció de la superfície dunar. La Figura 45 esdevé un exemple clar d'aquesta categoria.

Posteriorment, s'ha relacionat els tres tipus de transformacions establertes en cada cas amb variables socioambientals:

- En primer lloc, per a cada platja on s'ha localitzat dunes en el passat, s'ha classificat segons el tipus de costa i segons si l'espai gaudeix o no d'una figura de protecció com a espai natural.

- En segon lloc, s'han comparat els usos del sòl de l'entorn immediat de la platja per el període passat i per l'actualitat.

Aquesta doble anàlisi ens ha permès, per una banda, quantificar les tendències evolutives pel que fa la pèrdua d'hàbitat dunar al litoral català, i, per altra banda, apuntar algunes de les causes de la degradació dunar.

Per determinar la presència de dunes en el passat, s'han utilitzat els límits administratius i la nomenclatura actual de les platges (consultables al portal "Platges i dunes de Catalunya": <http://www.platgesonline.cat/>).

Amb tot, la informació estreta de cada font històrica ens ha permès:

- 1 - Elaborar un mapa amb la presència dunar en algun punt entre 1890 i 1960.
- 2 - Establir el tipus de canvi sofert a cada sistema.
- 3 - Relacionar el canvi amb variables socioambientals per tal d'apuntar, almenys parcialment, les causes de la transformació dunar.



Figura 43. Canvi paisatgístic de la platja de Sitges (1) i de la platja de l'Almadrava, a Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant (2), on les dunes han desaparegut en benefici de passejos marítims i espais residencials. 1 – El 1917 (1.A) la costa del nucli urbà de Sitges estava format per una sola platja delimitada per un gran cordó dunar, mentre que avui dia (1.B - maig de 2019) els diversos espigons paral·leles i perpendiculars a la costa divideixen les nombroses platges, sense dunes, del nucli de Sitges. Al fons s'observa l'església de Sant Bertomeu i Santa Tecla; 2 – Platja de l'Almadrava a principis del segle XX (2.A) i l'abril de 2019 (2.B). Al fons s'observa la central nuclear de Vandellòs (2.B).

Autors: Desconeguts

Font: ICGC. Fons Josep Maria Co i de Triola (1.A); Fotografia cedida per un particular (2.B)



Figura 44. Canvi paisatgístic al sector sud del cap de Salou a principis del segle XX (A) i a l'abril de 2019 (B). En primer pla s'observa la punta Prima i més enllà la punta dels Replanells. Al fons de la imatge s'observen les dunes grimpadores de la platja Llarga de Salou que han disminuït l'hàbitat dunar respecte el període 1890-1960.

Autor: Desconegut

Font: Biblioteca Nacional de Catalunya. Fons Joan Gustems Vinyals

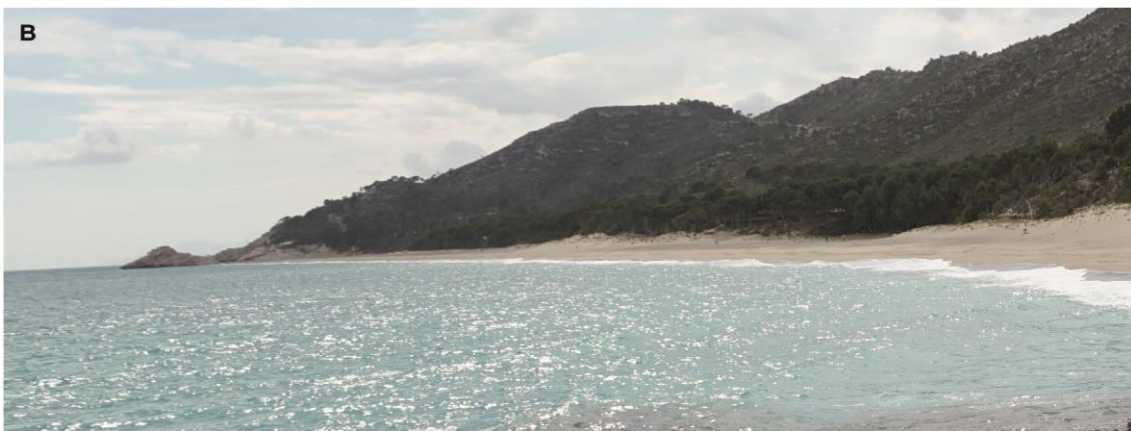


Figura 45. Platja del Torn (Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant) entre 1910 i 1920 (A) i l'abril de 2019 (B), al fons de la imatge es divisa l'illot del Torn. Les dunes d'aquesta platja han sofert canvis poc rellevants, tot i que el canvi paisatgístic és notori a causa del creixement pronunciat de la massa forestal. Així mateix, la línia de la costa es mostra progradant en aquesta zona i allà on hi havia tres platges separades per promontoris o *morrots*, avui dia només s'observa una sola platja que ha engolit els sortints rocosos.

Autor: Desconegut

Font: Centre Excursionista de Catalunya, fons Antoni Maymó Duarte

Anàlisi de correspondències múltiples (MCA)

El tipus de transformació de cada sistema platja-duna s'ha relacionat amb el tipus de costa i l'existència d'una figura de protecció com a espais natural. Aquesta relació s'ha establert per mitjà d'una anàlisi de correspondències múltiples o MCA (*multiple correspondence analysis*). La MCA és una tècnica d'anàlisi estadística per a dades categòriques nominals destinada a detectar estructures subjacents en la relació entre variables, així com per representar gràficament la relació entre variables (Greenacre, 2007; Lebart, Morineau, & Warwick, 1984).

Taula 8. Equivalències entre les categories de protecció segons la IUCN i segons l'estat espanyol. Les categories Ia, II i III no són presents a la costa catalana

Font: IUCN (2019) i Generalitat de Catalunya (2019a)

CATEGORIES IUCN	CATEGORIES ESPANYA	CARACTERÍSTIQUES DE PROTECCIÓ
Ia. Reserva Natural Integral	Reserva Natural Integral	Àrees naturals que conserven íntegrament els seus valors tant biològics com hidro-geològics. Aquests espais estan estrictament protegides per garantir la biodiversitat i les característiques geològiques o geomorfològiques. Els fluxos antròpics estan rigorosament controlats i limitats per assegurar la protecció i la conservació dels valors naturals
Ib. Àrea salvatge	-	Àrees molt poc alterades on la pressió antròpica hi és escassa. Aquests espais, sense assentaments humans permanents, mantenen el seu caràcter i influència naturals.
II. Parc Nacional	Parc Nacional	Grans àrees naturals o pro d'àrees naturals destinades a protegir els processos ecològics a gran escala. Proporcionen espais per a activitats culturals i ambientals com el gaudi espiritual, la recerca científica, l'educació ambiental o la recreació.
III. Trets Naturals Relictes i Distintius	Paratges Naturals d'Interès Nacional	Petites àrees destinades a protegir espais naturals relictos de gran valor per al seu estudi o contemplació.
IV. Àrees per a la gestió d'hàbitats i espècies	Reserva Natural Parcial	Espais destinats a protegir espècies o hàbitats específics. S'aconsella regular les activitats i intervenir per rehabilitar d'aquests espais, malgrat que no és obligatori.
V. Paisatges protegits	Parc Natural	Àrees on la interacció entre les activitats humanes i la natura al llarg del temps han originat espais de caràcter distintiu amb valors ecològics, biològics, culturals i paisatgístics propis.
VI. Àrees per l'aprofitament sostenible dels recursos naturals	Espai d'Interès Natural	Zones que conserven hàbitats i ecosistemes naturals, juntament amb espais de valors tradicionals i culturals associats a la gestió dels recursos. Es prioritza l'aprofitament tradicionals dels recursos compatible amb la conservació de la natura.

En concret, les 10 variables analitzades a través de la MCA han estat les següents:

- El tipus de canvi (desaparició dunar, disminució de l'hàbitat dunar, i canvis poc rellevants en l'hàbitat dunar)
- El tipus de costa (costa alta / costa baixa)
- L'existència d'una figura de protecció com a espai natural en base a les categories establertes per la International Union for Conservation of Nature (IUCN, 2019) (Taula 8). A la costa catalana només hi ha presents 4 categories (Ia, IV, V, VI i no protecció).

A les platges que gaudeixen de més d'una etiqueta de protecció, se'ls ha atribuït el nivell més alt. El tipus de costa, alta o baixa, ha estat determinat segons si l'entorn de la platja està situat a una zona de penya-segats o costa rocosa i retallada (costa alta), i bé si es troba a una zona de platges llargues i amples sense ambients rocosos a l'entorn immediat (costa baixa). Per a determinar aquesta categoria ha estat necessari la consulta d'ortofotomapes (ICGC, 2014a, 2015b). En canvi, per establir el tipus de protecció a cadascuna de les platges analitzades s'ha consultat el Pla d'Espais d'Interès Natural de Catalunya (Generalitat de Catalunya, 2019b).

Canvi d'usos del sòl a l'entorn immediat de la platja

Per determinar els usos i cobertes del sòl a l'entorn de les platges, s'han utilitzat les fotografies aèries verticals del vol americà de 1956 – 1957 (Servicio Geográfico del Ejército & Army Map Service, 1957). Per analitzar la transformació, aquestes fotografies s'han comparat amb ortofotomapes actuals (ICGC, 2015b). Els canvis en la cobertura del sòl s'han relacionat amb el tipus de transformació ocorreguts a les dunes a partir d'una taula de contingència entre els usos del sòl de mitjans de segle XX i actuals que ha permès apuntar les causes de la pèrdua d'hàbitat dunar.

4.2.4. Tractament de dades LiDAR en dunes aforestades

S'ha utilitzat el tractament de dades LiDAR (Laser Imaging Detection and Ranging) disponibles a l'ICGC per comprovar si l'elaboració d'un mapa digital d'elevació del terreny (MDT) posa al descobert les morfologies dunars parabòliques amagades sota el mantell de pins. L'eliminació de la cobertura arbòria mitjançant el tractament del núvol de punts LiDAR s'ha realitzat mitjançant el paquet LAsTols de QGIS 3.4. Aquesta prova s'ha realitzat només pel cas de la duna continental del Montgrí, actualment completament estabilitzada amb pins.

4.3. Desenvolupament d'indicadors

Una vegada analitzada la transformació històrica del paisatge dunar català i establerta una classificació de les actuals morfologies dunars, s'ha procedit a dissenyar un mètode que permet estudiar en profunditat i de forma integrada el sistema platja-duna. Amb aquesta finalitat, s'han elaborat 4 índexs inèdits basats en llistes de control que contemples cinc factors que incideixen de manera directe en el desenvolupament dunar: la topografia, la geomorfologia, la climatologia, l'ecologia i la influència antròpica. Aquest elements interaccionen en el sistema i en descriuen el seu estat. Per una banda, la topologia, la geomorfologia i l'ecologia es veuen fortament alterades per les accions humanes com la freqüentació humana, la neteja mecànica o la introducció d'espècies invasores (Carboni et al., 2010; González-Moreno et al., 2014; Nordstrom, 1994, 2000; Roig-Munar, 2004). Al mateix temps, els espais degradats per l'acció humana es poden veure agreujats per períodes climàtics extrems com ara les sequeres o les inundacions, que tendeixen a pronunciar les àrees de deflació i l'escarpament dunar (Bird, 2008).

S'ha estudiat quatre factors (Taula 9) que permeten descriure i estudiar el sistema platja-duna des de diferents perspectives:

- **StaDun:** l'estat geomorfològic i ecològic de les dunes;
- **BeaPot:** el potencial de les platges per desenvolupar dunes segons les característiques ambientals;
- **CoMan:** les accions de conservació i gestió del sistema platja-duna; i
- **SurLan:** el paisatge de l'entorn immediat de la platja.

A més, l'índex StaDun s'ha correlacionat amb la resta d'indicadors (BeaPot, CoMan i SurLan) amb l'objectiu de vincular els factors del sistema platja-duna que més expliquen l'estat geomorfològic i ecològic de les dunes.

Fet això, s'han combinat alguns dels indicadors basats en llistes de control (BeaPot, CoMan) per tal de dissenyar un índex de caire suggestiu que determina el potencial de restauració dunar (Taula 9):

- **DRP** o l'índex de potencial de restauració dunar

Aquests cinc índex s'han aplicat a 50 platges distribuïdes al llarg del litoral català (Figura 47). Els resultats obtinguts d'StaDun i DRP s'han clusteritzat amb el programari R, utilitzant el mètode de Ward i la distància euclidiana al quadrat. La classificació obtinguda ens ha permès descriure cada grup i quantificar el potencial de restauració dunar en cada cas.

Taula 9. Significat dels acrònims utilitzats en els indicadors desenvolupats

Índexs basats en llistes de control	Significat de l'acrònim en anglès
StaDun (11 variables)	Geomorphological and ecological status of dunes
BeaPot (9 variables)	Beach potential hosting dunes
CoMan (12 variables)	Conservation and management measures
SurLan (3 variables)	Surrounding landscape
Índex compost	Significat de l'acrònim en anglès
DRP = BeaPot · (1 – CoMan)	Dune restoration potential

4.3.1. Índexs basats en llistes de control

La metodologia utilitzada és una adaptació del procediment aplicat anteriorment per a avaluar la vulnerabilitat de sistemes dunars (Bodéré et al., 1994, 1991; Davies et al., 1995; García-Mora et al., 2001; Laranjeira et al., 1999; Pintó et al., 2014; Roig-Munar et al., 2006) i el potencial de restauració dunar (Lithgow et al., 2014). Tots aquests treballs es basen en llistes de control per desenvolupar índexs que permeten descriure i avaluar els sistemes platja-duna. En el cas del present treball, les llistes de control s'han utilitzat per descriure el sistema platja-duna des dels quatre àmbits o dimensions fonamentals que configuren i determinen la formació del sistema dunar: StaDun, BeaPot, CoMan i SurLan (Taula 10). Per aquest propòsit s'utilitzen 35 variables distribuïdes en les 4 dimensions esmentades (Taula 10).

Les variables s'han normalitzat de 0 a 4 (Taula 10), sent 4 un indicador molt favorable i 0 molt desfavorable en relació al desenvolupament dunar. L'índex de cada bloc consisteix en un valor que oscil·la entre 0 i 1, sent 0 el valor mínim i 1 el valor màxim de cada indicador:

$$IB = \sum B / B_{max}$$

On IB és el valor de l'índex de cada dimensió, B representa el valor de cada variable en la corresponent dimensió i *max* és el màxim valor possible per cada grup.

La major part de variables escollides en aquest treball han estat utilitzades prèviament en treballs anteriors (Bodéré et al., 1994, 1991; Ciccarelli et al., 2017; Davies et al., 1995; García-Mora et al., 2001; Laranjeira et al., 1999; Peña-Alonso et al., 2017; Peña-Alonso et al., 2018; Pintó et al., 2014; Roig-Munar et al., 2006). Tot i això, també s'ha incorporat variables de nova aportació que, fins ara, no han estat aplicades per a l'estudi del desenvolupament dunar. Les variables emprades per als quatre blocs estudiats (StaDun, BeaPot, CoMan i SurLan) estan justificades a l'Annex 2, l'Annex 3, l'Annex 4 i l'Annex 5, respectivament, on també s'especifica el mètode de càlcul i els materials necessaris per a reproduir la metodologia a altres sistemes platja-duna.

Els valors d'StaDun, BeaPot, CoMan i SurLan s'han classificat en alt (índex > 0.66), mitjà (índex entre 0.33 i 0.66) i baix (índex < 0.33).

Taula 10. Llista de control per analitzar StaDun, BeaPot, CoMan i SurLan: dins de cada variable analitzada s'especifica el llindar establert per als valors de la llista de control que oscil·len entre 0 i 4

StaDun	0	1	2	3	4
1. Tipus de dunes	Absència	Dunes incipients	Cordó dunar	Cordó dunar amb rereduna	Camp dunar
2. Superfície del sistema dunar (ha)	< 0,1	< 5	< 10	< 15	> 15
3. Àrea ocupada per la duna en relació al sistema platja-duna	< 5 %	< 25 %	> 25 %	> 50 %	> 75 %
4. Alçada màxima de la <i>foredune</i>	< 1 m	> 1 m	> 3 m	> 4 m	> 5 m
5. Morfologies incipients al front de la <i>foredune</i>	0 %	< 5 %	> 5 %	> 25 %	> 50 %
6. Evolució del front dunar des de 1956	Desaparició	Retrocés	Estabilitat	Recuperació	Progressió
7. Estat de la <i>foredune</i> segons Hesp (2002)	5	4	3	2	1
8. Espècies de tipus III en el front dunar segons García-Mora et al. (2001)	< 5		> 5		> 10
9. Plantes exclusives de sistemes platja-duna segons Pintó et al. (2012)	< 10		> 10		> 15
10. Espècies invasores	> 4	3	2	1	0
11. Espècies ruderals	> 7	> 5	> 3	> 1	< 1
BeaPot	0	1	2	3	4
1. Pendent de platja (°)	> 0.2		< 0.2		< 0.1
2. Erosió de la platja (m/any)	< -3	< -2	< -1	< 0	> 0
3. Orientació de la platja en relació als vents dominants	Perpendicular al mar	Obliqua al mar	Paral·lela	Obliqua a terra ferma	Perpendicular a terra ferma
4. Intensitat mitjana del vent (m/s)	< 3		< 3.5		> 3.5
5. Altura d'ona significant mitjana Hs (m)	> 1		> 0.7		< 0.7
6. Diàmetre del sediments (d50)	> 2	> 1	> 0.5	> 0.25	< 0.25
7. Sorres < 0.5mm	< 5 %	> 5 %	> 15 %	> 25 %	> 50 %
8. Àrea coberta per còdols en relació a la platja	> 50 %	> 25 %	> 15 %	> 5 %	< 5 %
9. Amplària de la platja seca	< 15 m	> 15 m		> 35 m	> 50 m
CoMan	0	1	2	3	4
1. Afluència de visitants en temporada alta (m ² /usuari)	< 3	< 5	< 8	< 15	> 15
2. Panells informatius	Absents o ineficients				Eficients
3. Passarel·les d'accés a la platja	No regulat	En accés	A terra	Aèries	Laterals
4. Franja de la platja alta restringida al pas	< 25 %	> 25 %	> 50 %	> 75 %	100 %
5. Captadors de sorra a la <i>foredune</i>	Ineficients o absents		Estables		Eficients/innecessaris
6. Revegetació	Inadequada o absent				Adequada o innecessària
7. Neteja mecànica / anivellació de la platja seca en temporada alta	Arran de dunes	Diària	Setmanal	Ocasional	Absència
8. Eradicació d'espècies invasores	No efectiva				Efectiva
9. Superfície de serveis i equipaments temporals damunt o a menys de 5 metres de les dunes*	> 15 %	> 10 %	> 5 %	< 5 %	0 %
10. Superfície d'aparcaments o altres serveis fixos damunt o a menys de 5 metres de les dunes*	> 75 %	> 50 %	> 25 %	< 25 %	0 %
11. Protecció del sistema i de l'entorn immediat	0 %	< 25 %	> 50 %	> 75 %	100 %
12. Grau de protecció segons la classificació de la IUCN (2019)	No protecció		Nivell VI	Nivell V	Nivell I-IV
SurLan	0	1	2	3	4
1. Espai urbanitzat en els 100 primers metres	100 %	> 75%	> 25 %	< 25%	0 %
2. Impacte segons la qualificació del sòl en els 100 primers metres	Urbà compacte	Urbà dispers	Urbanitzable	No urb. agrícola	No urb. natural
3. Rigidesa del sistema	100 %	> 75%	> 25 %	< 25%	0 %

StaDun: estat geomorfològic i ecològic de les dunes

Les característiques geomorfològiques i ecològiques són el principal indicador de l'estat de conservació i desenvolupament de les foredunes (Hesp, 1988, 2002). L'índex StaDun s'integra d'11 variables que contemplen aspectes morfològics, com les tipologies dunars presents als diferents sistemes platja duna de Catalunya (StaDun – 1); l'extensió o l'alçada de les dunes (StaDun – 2, 3, 4); la presència de morfologies incipients al front la foredun i a la platja alta (StaDun – 5); l'evolució del front dunar en els darrers 50 anys (StaDun – 6); l'estat de degradació que presenta el conjunt dunar segons Hesp (2002) (StaDun – 7); o la composició vegetal del sistema dunar (StaDun – 8, 9, 10, 11).

BeaPot: potencial de les platges per a desenvolupar dunes

El potencial de les platges per a desenvolupar dunes ha estat estudiat a partir de factors geològics, topogràfics i ambientals. El pendent de platja (BeaPot – 1), la intensitat i la orientació dels vents dominants (BeaPot – 3, 4), l'onatge (BeaPot – 5), l'amplada de la platja (BeaPot – 9), l'erosió de la platja (BeaPot – 2) i el tipus de sediment (BeaPot – 6, 7, 8) són factors que condicionen clarament la presència i la tipologia dunar a cada platja (Bazzichetto, Malavasi, Acosta, & Carranza, 2016; Bird, 2008; Carter & Woodroffe, 1994; Davidson-Arnott, 2010; McLachlan & Defeo, 2018b; Pilkey et al., 2011). En aquest punt, cal remarcar que la mostra estudiada és prou representativa de les característiques ambientals de les platges catalanes com per poder aplicar els mateixos llistats de valors a qualsevol platja del litoral català.

CoMan: mesures de conservació i gestió al sistema platja-duna

L'índex CoMan reuneix 12 variables que contemplen aspectes de la gestió, els usos i la protecció del sistema platja-duna. Roig-Munar et al. (2012, 2006) estudien diversos casos on l'estat de conservació del sistema platja-duna està directament correlacionat amb les mesures de gestió que s'hi apliquen. Així mateix, Roig-Munar et al. (2009) corroboren que les mesures de gestió laxes aplicades durant dècades a diferents sistemes platja-duna de les Illes Balears, posteriorment aplicades al golf de Roses i a la badia de Pals (Figura 30) (Roig-Munar, Vicens, Mir-Gual, Martín-Prieto, & Pons, 2013), són una eina clau per a la sostenibilitat del sistema en el seu conjunt. Entre aquestes mesures destaquen la col·locació de panells informatius (CoMan – 2), l'ús de passarel·les d'accés a la platja a través de les dunes (CoMan – 3), l'acordonament dunar (CoMan – 4), la implementació de trampes de sorra (CoMan – 5), la revegetació (CoMan – 6), l'eradicació d'espècies invasores (CoMan – 8), la disminució de la superfície de serveis i equipaments temporals damunt o prop de les dunes (CoMan – 9) o la moderació en la freqüència de neteja mecànica (CoMan – 7). Aquestes mesures de gestió i planificació afavoreixen (Figura 46B i D) o dificulten (Figura 46A i C) la conservació i desenvolupament dunar.

Els ajuntaments s'encarreguen de les diferents tasques de gestió i planificació dels usos a les platges (BOE, 2013). Per aquest motiu, per tal d'analitzar la gestió del sistema dunar s'han realitzat enquestes als municipis on es localitzen les platges. Quan el sistema platja-duna està protegit com a espai natural, també s'han realitzat enquestes als tècnics dels Parcs Naturals o dels consorcis en el cas que n'hi hagi. Les entrevistes han estat dissenyades utilitzant formularis que permeten als gestors indicar el tipus de gestió duta a terme a cadascuna de les platges de mostra segons les variables estudiades. S'han entrevistat als tècnics municipals dels 25 ajuntaments on es localitzen les 50 platges estudiades per mitjà de correus electrònics, trucades telefòniques o personalment. A més, també s'ha entrevistat als tècnics de 3 parcs naturals (el Parc Natural dels Aiguamolls de l'Empordà, el Parc Natural del Montgrí, les Illes Medes i el Baix Ter i el Parc Natural del Delta de l'Ebre) i els tècnics del consorci dels Espais Naturals del Delta del Llobregat, així com tècnics de l'entitat pública supramunicipal de l'Àrea Metropolitana de Barcelona.



Figura 46. Mesures de gestió a diferents sistemes platja-duna: A. Equipaments damunt la duna a la platja del Cortal de la Devesa; B. Acordonament i trapes de sorra a la platja del Cortal de la Vila; C. Neteja mecànica a la platja de la Rovina; D. Passarel·la aèria.

Data: estiu de 2018

SurLan: paisatge de l'entorn immediat de la platja

L'índex SurLan està compost per a tres variables que representen els elements paisatgístics de l'entorn immediat del sistema platja-duna i que determinen la seva rigidesa i pressió antròpica.

Per una banda, per analitzar la pressió antròpica que rep el sistema s'ha calculat el grau d'urbanització (SurLan - 1) i la qualificació del sòl (SurLan - 2). Aquestes variables han estat escassament considerades en estudis de vulnerabilitat de sistemes platja-duna (Bodéré et al., 1994, 1991; Davies et al., 1995; Pintó et al., 2014; Williams et al., 1994) i tan sols alguns autors en presenten un estudi exhaustiu (García-Mora et al., 2001; Laranjeira et al., 1999; Lithgow et al., 2014; Peña-Alonso et al., 2018). En aquest treball, a més de quantificar el grau d'urbanització de l'entorn de la platja (SurLan - 1), s'ha analitzat la qualificació del sòl que determinarà en un futur proper el desenvolupament de la zona. Per tant, la variable SurLan - 1 informa de la pressió antròpica actual, mentre SurLan - 2 revela la fragilitat del sistema en un futur proper, en tant que en detalla la superfície urbanitzada potencial.

Per altra banda, s'ha mesurat la rigidesa del sistema platja-duna segons els elements paisatgístics del seu entorn (SurLan - 3). Aquesta variable determina la mesura en què el sistema dunar es pot desplaçar cap a l'interior en episodis d'erosió de la platja.

4.3.2. Índex compost: DRP (potencial de restauració dunar)

L'índex de potencial de restauració dunar (DRP) quantifica la mesura en què es poden desenvolupar dunes en funció de les característiques geomorfològiques i ambientals de la platja (BeaPot) i de la gestió que s'hi duu a terme (CoMan). Es parteix de la premissa que el

potencial de restauració dunar (DRP) és directament proporcional a la capacitat que té la platja per a desenvolupar dunes (BeaPot) i inversament proporcional a les mesures de conservació i gestió que s'apliquen a la platja (CoMan):

$$DRP = BeaPot \cdot (1 - CoMan)$$

DRP oscil·la entre 0 i 1, on els valors propers a 0 indiquen molt poc potencial de restauració i els valors propers a 1 n'indiquen molt.

El DRP és un indicador que té en compte els paràmetres físics que afavoreixen el desenvolupament dunar (BeaPot) i les mesures de gestió que contribueixen a degradar, conservar o restaurar el sistema dunar segons com s'apliquin (CoMan). El DRP quantifica la possibilitat de restaurar dunes segons BeaPot amb una gestió CoMan orientada a aquesta finalitat. Contra més alt és BeaPot i més baix és CoMan, més potencial de restauració dunar presenta el sistema.

4.3.3. Casos d'estudi

S'han estudiat 50 sistemes platja-duna (Figura 47) distribuïts al llarg dels diferents trams de costa de les tres províncies del litoral català.

Barcelona (7 platges mostrejades) és de tot el litoral català la província amb més platges urbanes i amb més infraestructures litorals, com ports i espigons. En aquests tipus de platges, les morfologies dunars rarament hi són presents i quan ho són, simplement es desenvolupa un espai de duna incipient o un cordó dunar d'escassa altura i petites dimensions. De fet, 3 de les 7 platges escollides no presenten dunes i tan sols s'han triat per analitzar-ne el potencial de restauració dunar. Per aquest motiu, la proporció de platges escollides en aquesta província és clarament inferior respecte les altres províncies.

La costa de Girona (24 platges mostrejades) o Costa Brava, i la costa de Tarragona (19 platges de mostra) o Costa Daurada, tenen diferents tipologies de sistemes platja-duna segons les característiques de la platja i del seu entorn. Els trams de costa alta compten amb platges urbanitzades i, en menor mesura, platges naturals. Mentre que els trams de costa baixa estan constituïts per platges urbanes amb espais més densament poblats o complexos turístics formats per càmtings. Els espais naturals situats a la costa baixa estan íntegrament situats en àrees naturals protegides.

La mostra estudiada compta amb platges encaixades, obertes o semi-obertes on hi ha tota la varietat de morfologies dunars existents a Catalunya, des de dunes incipients fins a camps dunars, passant per cordons dunars i cordons dunars amb rereduna. El detall sobre quina tipologia de dunes es troba en cada cas es pot consultar a l'Annex 6. Preneu com a mostra la Figura 48 on es reproduïxen alguns exemples de platges escollides.

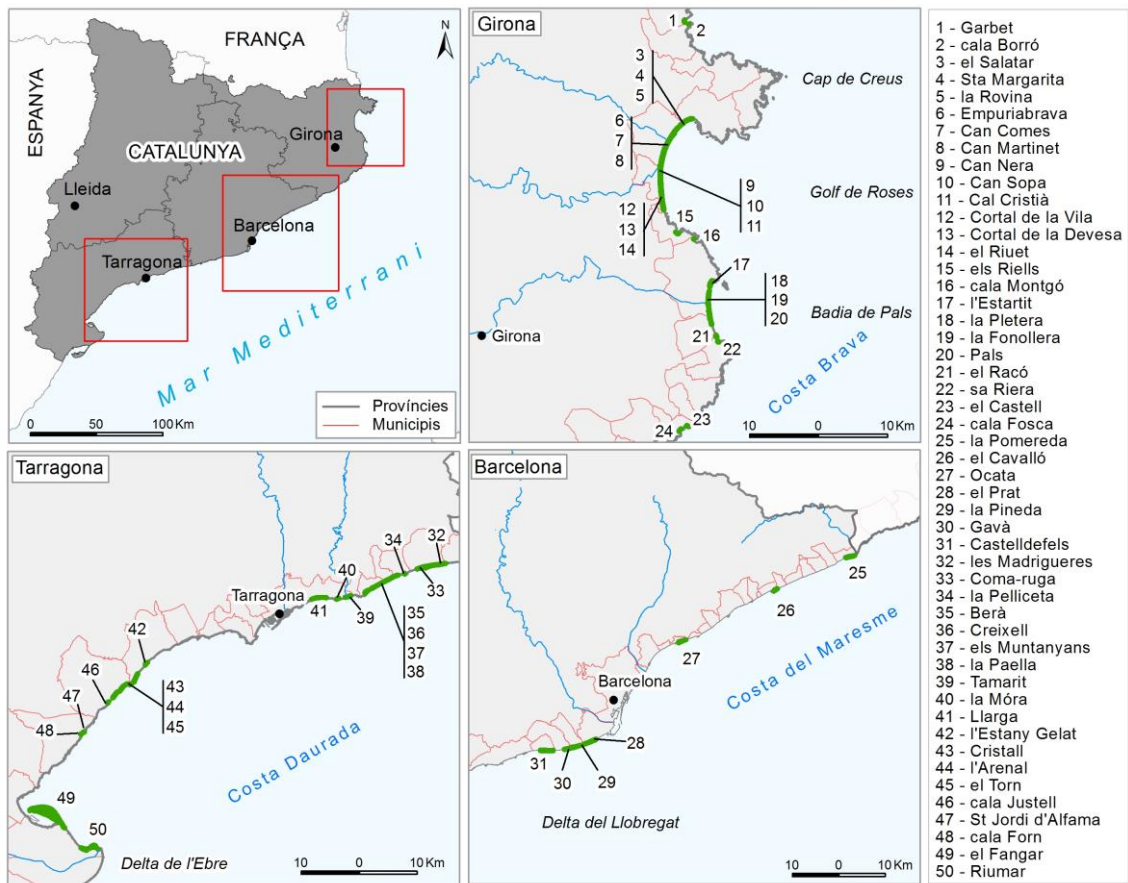


Figura 47. Casos d'estudi per a l'aplicació dels índexs dissenyats



Figura 48. Exemples de platges per a l'aplicació dels índexs basats en llistes de control: A – El sector nord de la platja de Creixell -codi 36- (Tarragona) s'ubica en un entorn urbà i presenta una morfologia rectilínia que alberga un extens cordó dunar amb rereduna; B – La platja encaixada de la cala Borró -codi 2- (Colera, Girona) es situa en un entorn natural i compta amb una zona de *foredune* i dunes estabilitzades i semi-estabilitzades; C – La platja encaixada de Garbet -codi 2- (Colera, Girona) presenta dunes incipients i es troba en un entorn urbanitzat, malgrat no s'aprecia a la imatge; D – La platja de la Paella -codi 38- (Torredembarra, Tarragona) s'ubica en un entorn urbà i presenta un ample cordó dunar.

Data: primavera de 2018

Les platges escollides representen l'ampli ventall de tipologies de sistemes platja-duna presents a Catalunya, tant des del punt de vista del grau d'artificialització, com del tipus de transformació que han sofert les morfologies dunars respecte la primera meitat de segle passat.

En relació al tipus de transformació, les 50 platges comprenen totes les casuístiques possibles segons el canvi sofert des del període 1890 – 1960 vers l'actualitat: desaparició dunar, disminució de l'hàbitat dunar, canvis poc rellevants i dunes que han estat restaurades després de la destrucció de l'hàbitat dunar. Així, alguna d'aquestes platges actualment no presenta cap tipus de morfologies dunars i han estat escollides per valorar si és possible la recuperació de morfologies dunars (Figura 49). A més, fins i tot s'han incorporat platges que s'han format recentment a sobrecoorrent d'infraestructures paral·leles a la costa (o per refracció de les onades en infraestructures perpendiculars). Consulteu la Taula 15 de la secció de *Resultats* on s'especifica de quin tipus de platja es tracta en cada cas (aquesta informació no s'ha especificat en el present apartat per tal de no avançar informació que correspon estrictament als resultats obtinguts d'aquesta recerca).



Figura 49. Platja de Riells (l'Escala, Girona). Exemple de platja on les dunes han desaparegut i actualment no mostra cap tipus de morfologia dunar

Font: Generalitat de Catalunya (2019a)

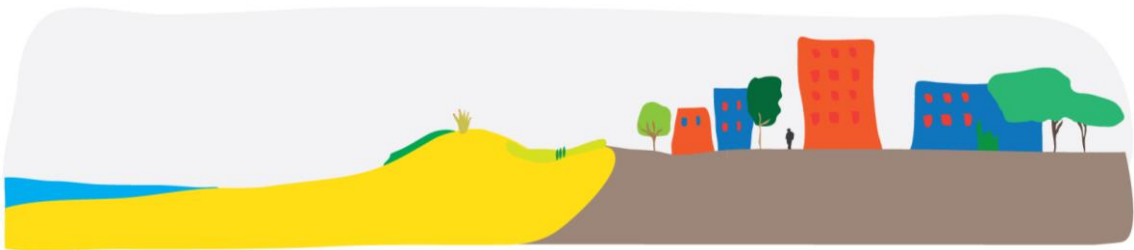
La selecció de platges s'ha classificat segon si són urbanes, urbanitzades i naturals seguint la terminologia utilitzada per Ariza et al. (2008) que agrupa les platges catalanes en aquestes tres categories:

- Les platges **urbanes** s'ubiquen en els principals nuclis urbans del litoral i compten amb al menys un 60% dels primers 500 metres d'espai urbanitzat.

- Les platges **urbanitzades**, en canvi, es situen en les àrees residencials situades a les afores del nucli principal de població i tenen un entorn urbanitzat d'entre el 30 i el 60% en els 500 primers metres. Ariza et al. (2008) consideren que les platges urbanitzades han de tenir un màxim del 50% de la superfície urbanitzada, en aquest treball, però, s'ha allargat aquesta xifra fins el 60% per tal de no deixar fora dels límits percentuals establerts la franja entre el 50 i el 60%.

- Finalment, les platges **naturals** presenten menys del 30% d'espai urbanitzat en una àrea d'influència de 500 metres. L'entorn que s'ha considerat urbanitzat comprèn qualsevol grau d'artificialització com edificacions, passejos marítims, vies de comunicació, ports o espigons.

5. Resultats



5.1. Les dunes en l'actualitat: identificació i morfologia

El litoral català està format per 823 platges de les quals 127 presenten algun tipus de morfologia dunar, el que en termes percentuals suposa poc menys del 15% de platges. Els espais dunars es concentren a les principals zones deltaiques: al delta de l'Ebre, al delta del Llobregat, al golf de Roses i a la badia de Pals (Figura 50 i Taula 12). Les dunes també són abundants a les platges de la Costa Daurada, al llarg de quasi tots els municipis que integren la costa de Tarragona. Per contra, a les platges de la Costa del Maresme i la Costa Brava sud les dunes hi són escasses (Figura 50 i Taula 12). Amb tot això, gairebé el 70% de municipis litorals (48 dels 70) compten amb alguna platja que conté morfologies dunars.

La província de Tarragona concentra més del 45% de les platges amb dunes de tot Catalunya (Figura 50), el que suposa més del doble que la costa barcelonina que només en concentra el 22%. Entremig dels dos casos es situa la Costa Brava que computa un total de 40 platges amb dunes, xifra que equival al 30% de platges amb dunes (Figura 50).



Figura 50. Nombre de platges amb dunes per àmbit provincial i distribució dels sistemes dunars a Catalunya. Les úniques dunes interiors a Catalunya avui dia estan fixades amb pins i es situen damunt dels massissos del Montgrí i Begur. Les dunes costaneres es troben al voltant dels principals rius de Catalunya, al delta de l'Ebre, del Llobregat i a les planes de l'Alt i el Baix Empordà, i a la Costa Daurada.

A més de les dunes costaneres localitzades a les platges, a Catalunya hi ha dos grans camps dunars situats a l'interior (Figura 50 i Taula 12). Es tracta de les grans muntanyes de sorra

del massís del Montgrí i del massís de Begur, situats al sud del golf de Roses i la badia de Pals, respectivament, que foren fixades amb pins entre els anys 1896 i 1910 (de Ferrer, 1895).

5.1.1. Tipus de dunes

Un gran nombre de morfologies dunars són induïdes per la presència d'infraestructures pròpies de costes humanitzades amb pressió turística, com passejos marítims, murs, ports, àrees residencials o complexos turístics. Els diferents tipus de dunes que s'han trobat s'han representat gràficament a la Figura 51 i s'expliquen a continuació.

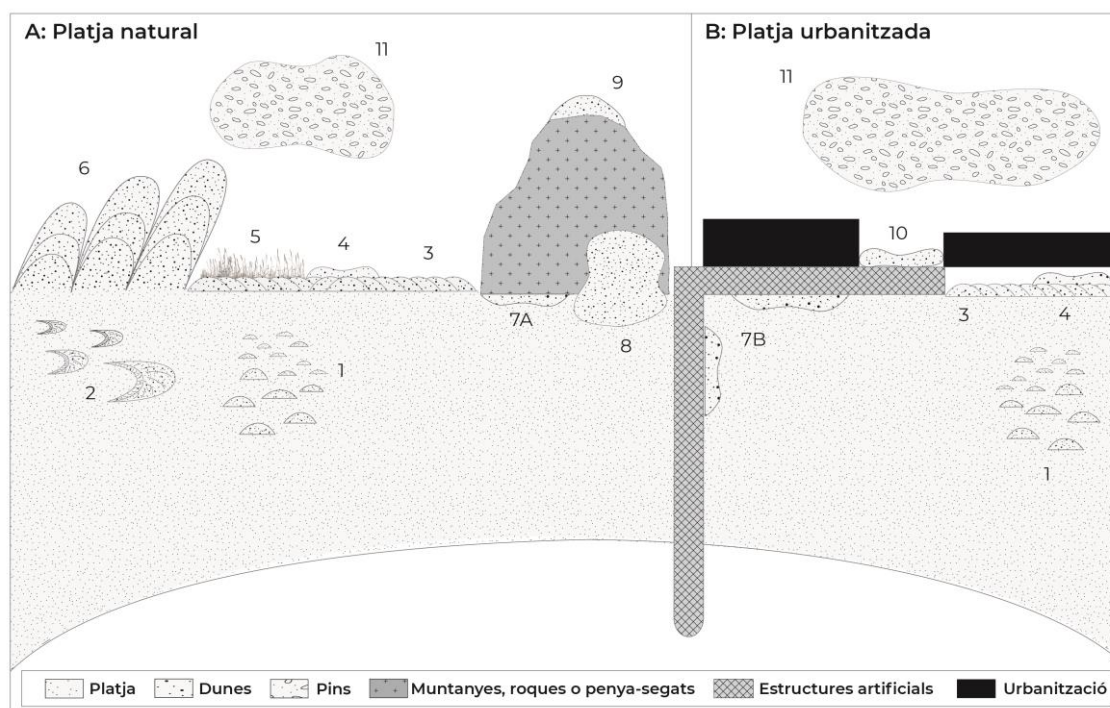


Figura 51. Tipus de dunes a les platges naturals i a les platges urbanes del litoral català: 1 – Dunes incipients; 2 – *Barkhanes*; 3 – Cordó dunar; 4 – Cordó dunar amb rereduna; 5 – Depressió interdunar o *slack*; 6 – Camp dunar de dunes parabòliques; 7A – Dunes en rampa en estructures naturals; 7B – Dunes en rampa en estructures artificials; 8 – Dunes grimpadores; 9 – Dunes al cim d'un penya-segat o *cliff top dunes*; 10 – Dunes situades a l'interior d'estructures urbanes; 11 – Dunes fixades amb pins

Font: Modificat de Pintó i Garcia-Lozano (2016)

1 - Dunes incipients

Són petites morfologies de sorra, també anomenats dunes embrionàries, situades al límit interior de la platja alta i induïdes per la presència de vegetació pròpia de la comunitat *Agropyretum mediterraneum* (Figura 52B). Moltes d'aquestes plantes, com *Sporobolus pungens* o *Elymus fractus*, són rizomàtiques o estoloníferes i actuen com una trampa natural d'arena. Les dunes incipients es formen a quasi totes les platges, però sovint desapareixen després del temporal, el trepig o la neteja mecànica. Les dimensions que poden assolir les dunes incipients poden anar des d'uns pocs centímetres d'alçada fins a unes quantes desenes. En algunes platges, on la disponibilitat de sorra fina hi és escassa, el volum de les morfologies incipients és gairebé inexistent i només s'ha considerat la presència de dunes embrionàries en els casos on apareixen espècies pròpies d'ambients dunars, és a dir, de les comunitats del jull de platja (*Agropyretum mediterraneum*) i del borro (*Ammophiletum arundinaceae*). Entre les espècies més concurrents d'aquestes

comunitats hi trobem les plantes herbàcies anuals, excepte *Salsola kali* i *Cakile maritima* que són pròpies de la comunitat de platja alta (*Glaucio-Cakiletum maritimae*), i la seva presència, per tant, no indicaria la presència d'un sistema dunar embrionari.

Nebkes

Quan les dunes incipients es formen terra endins, a resguard de les constants perturbacions naturals o antròpiques, poden perdurar anys fins assolir aproximadament 1 metre d'altura i esdevenir *nebkas* (Figura 52C).



Figura 52. A - *Barkhana* a la platja de la Marquesa, al delta de l'Ebre. En línia discutia blanca delimita la morfologia per a la seva correcta identificació; B - *Nebkas* a la platja de Buda, al delta de l'Ebre; i C - Dunes incipients a la platja de la Marquesa

Data: abril de 2019

2 - *Barkhanes*

Es tracta de dunes mòbils sense colonització vegetal i en forma de mitja lluna amb els braços a sotavent respecte els vents dominants (Figura 52A). Es formen durant períodes

curts de forts vents en zones on hi ha prou disponibilitat de sediment i prou espai com per desenvolupar-s'hi. No assoleixen més de 2 metres d'alçada i sovint són eliminades per la neteja mecànica de les platges. La seva presència és exclusiva de la punta del Fangar, de l'extrem oriental del Garxal (delta de l'Ebre) i de les platges de Sant Pere Pescador, on els vents dominants són de component nord – nord-oest. Com que creixen respecte els vents dominants, tant a les platges de l'Empordà com a les del Delta, aquestes dunes avancen paral·leles a la costa i no de mar cap a terra.

3 - Cordons dunars

L'evolució i combinació de diverses *nebkas* resulta en la formació d'un cordó dunar a la platja alta. En general, els cordons dunars creixen formant un cinturó de dunes continuu i paral·lel a la ribera de mar (Figura 53). L'alçada dels cordons dunars varia notablement, des d'1 metre d'alçada a les platges del delta del Llobregat, fins a superar els 5 metres en alguns sectors de la badia de Pals, del delta de l'Ebre o de la platja dels Muntanyans. Els cordons dunars també estan colonitzats per espècies pròpies de la comunitat vegetal *Agropyretum mediterraneum* a la duna frontal, mentre que a les crestes dunars hi predomina la comunitat del borro (*Ammophiletum arundinaceae*) amb espècies com *Ammophila arenaria* i *Pancratium maritimum*.



Figura 53. Cordó dunar confinat entre la platja del Cortal de la Devesa i el càmping de *la Ballena Alegre* (Sant Pere Pescador, Girona)

Data: estiu de 2013

En ocasions, els cordons dunars han sigut generats artificialment amb l'objectiu de protegir els béns i serveis adjacents a la platja dels temporals de mar. L'erosió del vent causa canals de deflació o *blowouts* que trenquen la continuïtat de les morfologies dunars. Aquestes bretxes també poden estar formades per l'activitat humana per mitjà del trànsit de persones o vehicles. En els casos on la vegetació hi és escassa, els canals erosius es poden veure agreujats per perturbacions climàtiques com les sequeres, les tempestes o els temporals de mar. Sovint, la degradació dels cordons dunars deriva en petits monticles de dunes romanents aïllats entre sí.

4 - Cordons dunars amb rereduna

En algunes platges on els cordons dunars protegeixen de la influència marina l'espai que queda darrera d'aquests, hi apareix un ambient que pot ocupar des d'uns pocs a unes desenes de metres terra endins. Es tracta de l'espai de rereduna on la densitat vegetal hi és elevada i el moviment d'arenes, en canvi, escàs (Figura 54). Aquests espais també es coneixen com espais de dunes semi-fixades o semi-estabilitzades. Malgrat que aquests

ambients combinen comunitats típiques de dunes mòbils (*Agropyretum mediterraneum* i *Ammophiletum arundinaceae*), les comunitats vegetals que hi predominen són la *Crucianelletum maritima* i *Eriantho-Holoschoenetum australis*, amb espècies com la *Crucianella maritima* o la bufalaga (*Thymelaea hirsuta*).

Els únics espais dunars que contenen rereduna ben definida es troben al delta de l'Ebre, a la badia de Pals, al golf de Roses, al delta del Llobregat i a Torredembarra. Tot i això, al llarg del litoral català també es poden observar dunes semi-fixades romanents en trams aïllats d'algunes platges, com a la platja Llarga de Tarragona, a la platja del Torn o a la platja de la cala Justell.



Figura 54. Cordó dunar amb rereduna a la platja de la Fonollera (Torroella de Montgrí, Girona). Al fons de la imatge es la carena del Montgrí, a l'oest, i la Roca Maura, a l'est.

Data: estiu de 2014 (fotografia cedida per Josep Pintó)

5 - Depressions interdunars o slacks

En ocasions, la topografia dunar les comunitats vegetals presents en el perfil platja-duna. En les depressions interdunars o *slacks* properes al nivell freàtic hi apareix un tipus de vegetació molt diferent del de les crestes dunars, malgrat trobar-se a la mateixa distància del mar. En aquestes circumstàncies, la cohesió dels materials i la humitat atmosfèrica és superior, alhora que el vent i l'enterrament hi són escassos, contribuint així una major colonització de la vegetació

6 - Camps dunars

Es tracta de grans extensions de dunes mòbils molt dinàmiques combinades amb sectors de dunes semi-estabilitzades que formen morfologies parabòliques en forma de mitja lluna amb els braços orientats als vents dominants (Figura 55). Els camps de dunes parabòliques només es troben a algunes platges del delta de l'Ebre, on la disponibilitat de sediment i d'espai permeten la seva formació i desenvolupament. Es tracta de la punta del Fangar, la platja del Garxal i la punta de la Banya.



Figura 55. Camp dunar de la punta del Fangar, al delta de l'Ebre (Deltebre, Tarragona)
Data: maig de 2018

7 - Dunes en rampa

A vegades la formació dunar està vinculada a un obstacle orogràfic o artificial que en determina la seva morfologia. En origen natural, aquestes dunes estan induïdes per la presència de roques o penya-segats (Figura 56B). Altres vegades la seva formació està vinculada amb infraestructures artificials paral·leles o perpendiculars a la costa, com passejos marítims o murs, espigons, ports o edificacions urbanes (Figura 56A).



Figura 56. Platja del Cristall (Mont-roig del Camp, Tarragona). Aquesta platja presenta dunes en rampa en estructures artificials (A) adossades al passeig marítim, així com també té dunes en rampa en estructures naturals (B) al seu sector més septentrional.

Data: maig de 2018

8 - Dunes grimpadores

En algunes platges limitades per roques, les morfologies dunars empeses pel vent escalen el desnivell fins assolir des d'uns pocs metres a unes quantes desenes de metres. Aquestes dunes s'han localitzat al llarg del litoral català en platges del Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant (el Torn o cala Bea), de l'Ametlla de Mar (el Calefató o cala Forn), de Salou (Figura 57A) o de Colera (Cala Borró o Garbet).

9 - Dunes al cim d'un penya-segat

Es tracta de dunes grimpadores que assoleixen el cim d'un penya-segat i s'hi instal·len de forma més o menys permanent. Aquesta tipologia de dunes només s'ha trobat a la platja de Sant Jordi d'Alfama, al municipi de l'Ametlla de Mar (Figura 57B).

10 - Dunes situades a l'interior d'estructures urbanes

Algunes morfologies dunars del delta del Llobregat es veuen interrompudes per passejos marítims i queden relegades a l'interior d'aquests (Figura 57C).



Figura 57. **A** – Duna grimpadora a la platja Llargueta de Salou; **B** – Duna al cim d'un penya-segat a la platja de Sant Jordi d'Alfama de l'Ametlla de Mar; i **C** – Duna situada a l'interior d'estructures urbanes a la platja de Castelldefels

Data: estiu de 2018

11 - Dunes fixades

Nombroses morfologies dunars situades terra endins han estat estabilitzades per vegetació arbustiva (Figura 58). Aquesta fixació pot ser d'origen natural o artificial i sovint les arbredes que hi predominen són de pi pinyer (*Pinus pinea*) o pi blanc (*Pinus halepensis*). El

massís de Montgrí i el massís de Begur allotgen les dunes fixades amb pins més importants del litoral català superant les 750 i 500 hectàrees, respectivament. També hi ha pinedes que fixen les parcialment les sorres de les platges de l'Estartit, d'Empúries, de Platja d'Aro, de Blanes, Castelldefels, de Salou (platja Llarga i del Cap de Salou) i de Cambrils (platja de Vilafortuny). Per a consultar l'emplaçament d'aquests municipis vegeu la Figura 29.



Figura 58. Dunes fixades a la platja de l'Estartit (Torroella de Montgrí, Girona)
Data: estiu 2014 (fotografia cedida per Josep Pintó)

Les dunes fixades són, sens dubte, les morfologies dunars més extenses de Catalunya seguides de lluny pels camps dunars i els cordons dunars amb rereduna i, en menor mesura, els cordons dunars (Taula 11). En canvi, les dunes incipients i els camps dunars de *barkhanes* són les dunes que menys percentatge ocupen respecte el total de morfologies dunars.

Totes els sistemes dunars presents a Catalunya queden recollits dins del visor de Platges i Dunes de Catalunya (<http://www.platgesonline.cat/>) on es concreta la morfologia dunar de cada sistema (Figura 59). Aquest visor es va desenvolupar pel LAGP i ha estat actualitzat en marc de la present tesi doctoral.

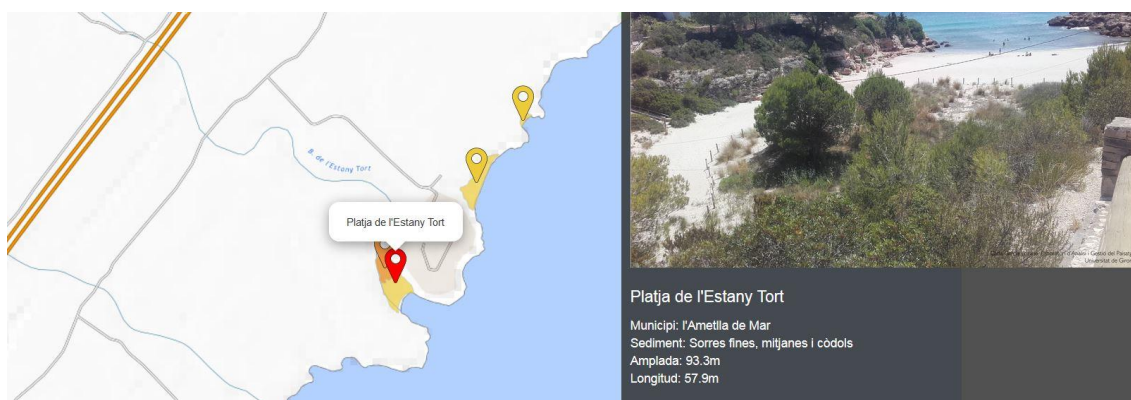


Figura 59. Aspecte del visor de Platges i Dunes de Catalunya (<http://www.platgesonline.cat/>). Exemple de selecció de la platja de l'Estanty Tort (l'Ametlla de Mar, Tarragona).

Taula 11. Superfície ocupada pels diferents tipus de dunes al litoral català

Tipus de dunes	Superfície (ha)	%
Camps dunars	307,5	12,3
Camps dunars de <i>barkhanes</i>	31,7	1,3
Cordons dunars amb rereduna	195,2	7,8
Duna grimpadora en estructures naturals	3,1	0,1
Cordons dunars	59,3	2,4
Duna al cim d'un penya-segat	0,01	0,001
Duna grimpadora en estructures naturals	5,6	0,2
Duna en rampa en estructures artificials	0,2	0,005
Duna en rampa en estructures naturals	0,2	0,01
Duna situada a l'interior d'estructures urbanes	8,5	0,3
Duna incipient / <i>nebka</i>	27,9	1,1
Duna grimpadora en estructures naturals	0,8	0,04
Duna en rampa en estructures artificials	0,6	0,02
Duna en rampa en estructures naturals	0,04	0,002
Dunes fixades	1851,5	74,3
TOTAL	2492,1	

5.1.2. Distribució de les dunes de Catalunya

Les dunes més extenses de Catalunya corresponen als grans mantells de sorra que travessen de nord a sud els massissos del Montgrí (Figura 27) i Begur i que ocupen, en total, més de 1500 ha (Taula 12). Aquestes grans dunes interiors s'estenen pels municipis de Foixà, Gualta, Pals, Regencós, Begur i Torroella de Montgrí. Les muntanyes de sorra s'elevan més de 100 metres i encara conserven les morfologies parabòliques d'abans de ser fixades (Cros, 1987; Cros & Serra, 1990, 1993).

Les platges de Catalunya alberguen morfologies dunars molt més reduïdes en extensió. Les dunes costaneres de més superfície es troben al delta de l'Ebre, en concret a la punta de la Banya, la punta del Fangar i el Garxal (Taula 12). Els camps dunars de la costa catalana es restringeixen únicament a aquests tres espais que, al seu torn, presenten morfologies dunars molt diferents entre sí. Les *barkhanes* mòbils predominen a la punta del Fangar i la punta del Garxal, mentre que els camps de dunes parabòliques es fan clarament evidents al Garxal i a la punta de la Banya. Tot i això, a l'extrem més meridional de la punta del Fangar hi ha grans extensions de *foredunes* poc vegetades de gran alçada. Així mateix, la punta de la Banya presenta grans espais interiors de dunes semi-fixades i fixades amb vegetació llenyosa. Les dunes parabòliques de la platja del Garxal estan alternades amb depressions interdunars més humides o *slacks* que canvien marcadament la fisonomia del paisatge dunar.

Els camps dunars del delta no presenten la disposició típica de la successió d'ambients dunars de mar cap a terra (Figura 17), sinó les dunes parabòliques es van obrint pas terra endins tot colgant maresme i llacunes. En aquest avenc hi té lloc l'aparició d'*slacks* i de dunes semi-fixades allà on la topografia i les condicions ambientals així ho afavoreixen.

Taula 12. Llistat de les vint dunes més extenses de Catalunya

	Municipi	Superfície (ha)
Duna interior		
	Foixà, Gualta, Pals, Regencós, Begur i Torroella de Montgrí	1582,7
Dunes costaneres (platges)		
de la punta de la Banya	Sant Carles de la Ràpita	221,6
del Fangar	Deltebre	83,5
del Prat	el Prat de Llobregat	58,2
de Gavà sector nord	Gavà	57,0
de la Pineda	Viladecans	49,3
de Riumar	Deltebre	43,0
de Gavà sector sud	Gavà	40,8
de Pals sector sud	Pals	40,3
del Remolar	Viladecans	19,6
Naturalista	el Prat de Llobregat	19,5
de la Fonollera	Torroella de Montgrí	17,2
dels Semàfor	el Prat de Llobregat	13,5
de can Comes	Castelló d'Empúries	13,2
de Buda	Sant Jaume d'Enveja	12,9
de Castelldefels sector central	Castelldefels	12,8
dels Muntanyans	Torredembarra	12,6
de la Rovina gran	Castelló d'Empúries	11,4
de Covafumada	Sitges	8,4
de l'Arenal	l'Ampolla	8,3
de Castelldefels sector oest	Castelldefels	8

En un segon ordre de dimensions destaquen les dunes de la badia de Pals, del delta del Llobregat, de la platja dels Muntanyans i, en menor mesura, del golf de Roses. En aquests espais hi apareix la successió d'ambients dunars pròpia de les dunes primàries i secundàries. Aquí, les dunes incipients de la platja alta i cedeixen el pas progressivament a maresmes i brolles a mesura que s'endinsen cap a terra. En aquest canvi d'ambients les dunes esdevenen *foredunes* semi-fixades i rereduna fixada amb vegetació llenyosa.

Aquestes cinc zones geogràfiques concentren les 20 platges més importants respecta l'extensió de morfologies dunars (Taula 12). En canvi, les grans dunes a Catalunya ocupen un percentatge ínfim en relació a les 127 platges que tenen dunes ja que els camps dunars (extensions de dunes superiors a les 20 hectàrees) suposen menys de l'1% de les platges amb dunes (Figura 60). La major part de les 127 platges amb morfologies dunars a la costa catalana, estan formades per cordons dunars i cordons dunars amb rereduna (Figura 60). Tot i això, aquestes tipologies dunars presenten reduïdes dimensions en la majoria dels casos (entre 0.05 i 0.5 hectàrees, i, en menor mesura, entre 1 i 5 hectàrees). Les dunes de petita extensió (< 0.05 hectàrees) són també predominants a la costa catalana, ocupant més del 15% de les platges amb dunes.

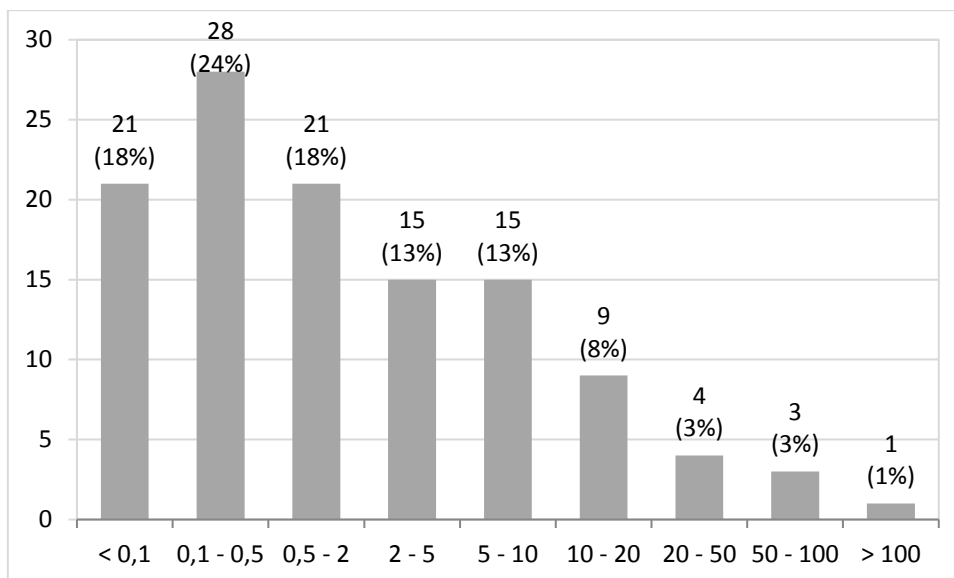


Figura 60. Nombre de platges segons el rang de superfície dunar (ha)

5.2. Evolució històrica

Entre 1890 i 1960 s'han identificat un total de 201 platges amb algun tipus de morfologia dunar, mentre que actualment només en presenten 127 (Figura 61 i Annex 7).

De les 201 platges amb dunes del passat, 79 mantenen algun tipus de morfologia dunar avui dia. Les 48 platges que resten fins assolir la xifra de 127, corresponen a espais dunars recuperats en els darrers anys després que l'entorn sofriés un episodi de destrucció dunar. A part d'aquest fenomen, entre les 48 platges també s'ha identificat sorral de nova formació que alberguen dunes embrionàries o cordons dunars de modestes dimensions. Aquestes platges són el resultat de l'alteració en la corrent longitudinal i en la distribució de sediments, processos estretament lligats a la construcció d'infraestructures paral·leles i perpendiculars a la costa. N'és un clar exemple la platja del Calafat reproduïda a la Figura 62 i que deu la seva aparició a la construcció del port efectuada entre els anys 1982 i 1987. El posterior emplaçament de dos espigons (Figura 62B) servia per protegir i consolidar la presència d'una platja en un tram de costa eminentment rocosa (Figura 62A).

Per a més detall sobre l'evolució del paisatge dunar i, en concret, per a conèixer quines platges són de nova formació i a quines hi ha recuperat les dunes després d'un procés de destrucció dunar, consulteu l'Annex 6.

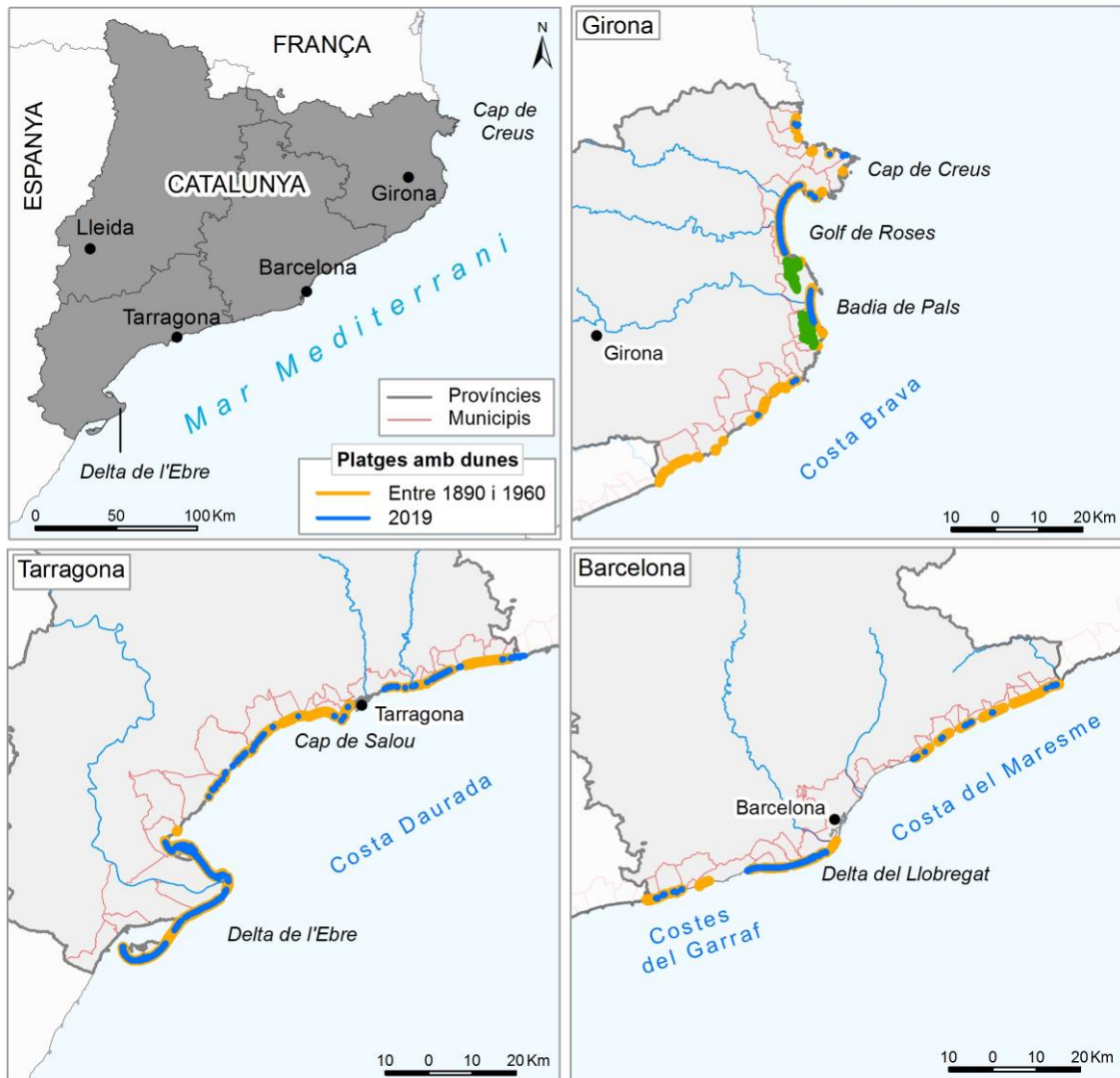


Figura 61. Platges amb dunes en el període 1890 – 1960 (201 platges) i el 2019 (127 platges)

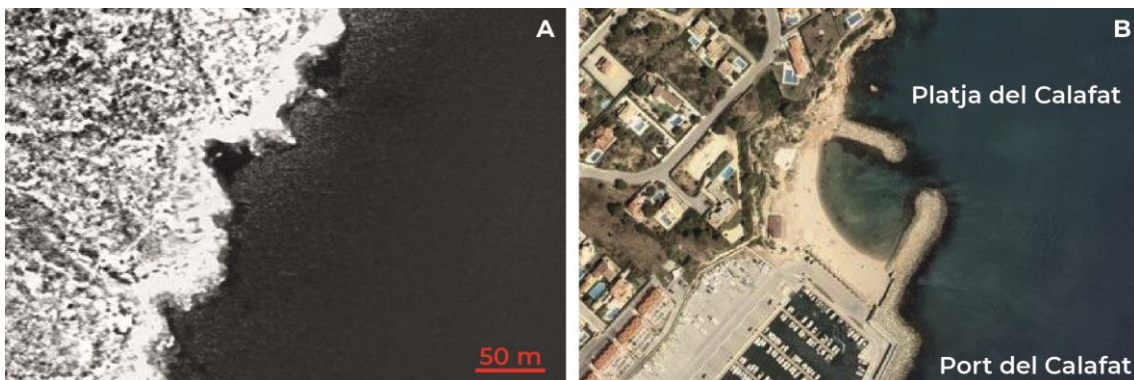


Figura 62. Platja del Calafat (l'Ametlla de Mar) el 1957 (A) i actualment (B). Aquesta platja és un sorral format recentment per la creació d'infraestructures litorals com el Port del Calafat i els espigons situats al nord del mateixa estructura. La platja del Calafat actualment alberga morfologies dunars, mentre que l'any 1957 no existia ni tan sols platja.

Font: ICGC (2018) i Servicio Geográfico del Ejército & Army Map Service (1957)

De la mateixa manera que succeeix actualment, durant la primera meitat del segle passat les dunes més ben desenvolupades es concentraven al voltant dels deltes i planes deltaïques (Figura 61). Tot i això, nombroses platges encaixades presentaven morfologies dunars que escalaven els vessants rocallosos del límit interior de la platja, tot formant dunes grimpadores o *climbing dunes*. Aquestes dunes sovint ascendien uns metres muntanya amunt fins que la força del vent deixava de ser efectiva pel transport d'arena (Figura 63).



Figura 63. Platja dels Capellans, situada al sector sud del cap de Salou (Salou, Tarragona), en algun moment entre 1948 i 1952 (A) i l'abril de 2019 (B). Les dunes grimpadores que sortien de la platja i s'enfilaven vessant amunt (A), han desaparegut en benefici de zones residencials i carrers que faciliten l'accés a la platja (B).

Autor: Desconegut (A) i Carla Garcia Lozano (B)

Font: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya. Fons Família Cuyàs (A)

Altrament, a banda dels sectors deltaïcs i les platges encaixades amb dunes grimpadores, també s'han localitzat dunes incipients en platges que avui dia no alberguen cap tipus de morfologia dunar. Amb tot això, en el període entre 1890 i 1960 s'han identificat sistemes dunars de petita entitat en trams de costa on actualment les formacions dunars en són una mera excepció. Es tracta del sector sud de la Costa Brava, la Costa del Maresme o les Costes del Garraf, regions costaneres on temps enrere les dunes hi eren presents (Figura 61).

Antigament, les amples platges del Maresme presentaven grans sectors de dunes incipients (Figura 64A), mentre que avui dia, la seva presència hi és merament anecdòtica. La flora de Pere Montserrat (1955) ha permès identificar molts sorrals situats a la platja alta com a dunes incipients gràcies a la presència de plantes pròpies d'ambients dunars com *Ambrosia maritima*, *Calystegia soldanella*, *Elymus Farctus*, *Euphorbia peplis*, *Euphorbia paralias*, *Malcolmia ramosissima*, *Matthiola sinuata*, *Maresia nana*, *Medicago marina*, *Eryngium maritimum*, *Echinophora spinosa*, *Pancratium maritimum*, *Polygonum maritimum*, *Silene*

nicaeensis, *Sporobolus pungens* o *Vulpia membranacea*. El mateix autor es refereix a l'abundància d'espècies exclusives de dunes en els sectors que acumulen sorra fina dins les platges maresmenques. En canvi, en l'actualitat les sorres fines hi són escasses i la zona alta de les platges és un sorral aplanat i estàtic ocupat eminentment pel *Rumex bucephalophorus*, una espècie de poca alçada que colonitza sòls sorrencs i secs propers al litoral. A tall d'exemple prenem la platja de les Dunes de Santa Susanna (Figura 64) on Pere Montserrat (1955) hi havia identificat nombrosos espècies pròpies d'espais dunars, mentre que avui dia l'espai de platja alta es troba habitat principalment pel *Rumex bucephalophorus*.



Figura 64. Dunes incipients a la platja de les Dunes (Santa Susanna, Barcelona) a l'any 1948 (A). En l'actualitat (B) aquest espai no mostra morfologies dunars incipients ni tampoc cap espècie associada als hàbitats dunars. Bona part de les platges maresmenques estan habitades pel *Rumex bucephalophorus*, una planta d'uns pocs centímetres d'alçada i d'aspecte rogenic fàcilment identificable a la fotografia B.

Autor: Pere Montserrat (A) i David Pavón (B)

Font: Secció de Ciències Naturals del Museu de Mataró (A).

5.2.1. Tipus de transformació

Al llarg de tot el litoral català les dunes han desaparegut al 61% de platges i que el 30% de platges han patit disminució de l'hàbitat dunar; i tan sols el 9% de les platges s'han mantingut sense alteracions rellevants (Figura 66 i Figura 65).

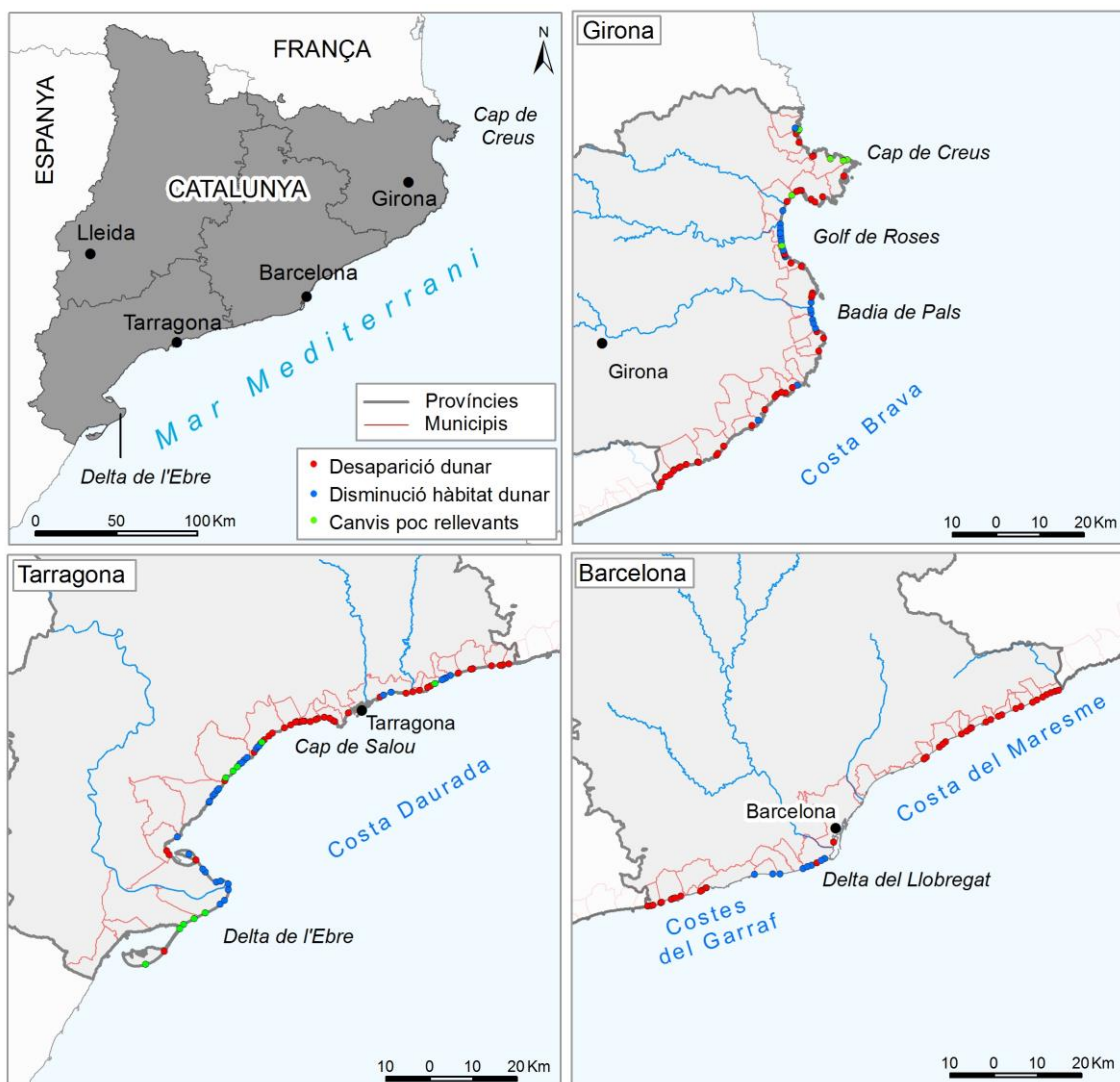


Figura 65. Tipus de transformació de les 202 platges amb dunes entre 1890 i 1960 en relació amb el seu estat actual

Aquestes xifres varien substancialment si l'anàlisi es realitza per àmbit provincial (Figura 66). Els canvis ocorreguts per províncies es disparen a la regió de Barcelona, mentre que a la de Tarragona les dades es troben lleugerament per sota de la mitjana catalana. La província de Girona, en canvi, mostra una tendència molt similar a la del conjunt del país. Pel cas gironí, i coincidint amb la tendència general, el 61% de les platges s'han vist afectades per la desaparició dunar, i més del 25% per la disminució d'hàbitat dunar. També seguint la tendència del conjunt de Catalunya, una minoria de platges s'han vist poc alterades i romanen gairebé intactes respecte anys enrere (13%).

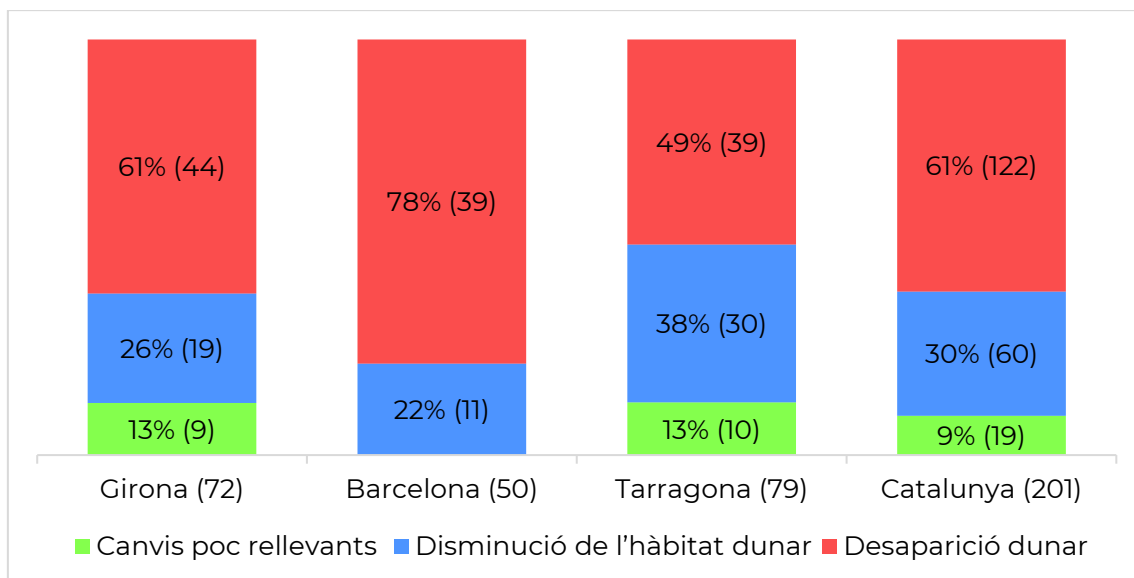


Figura 66. Tipus de transformació dunar per àmbit provincial i pel total català segons el nombre de casos (nombres absoluts indicats en parèntesi).

Encara més acusada és la tendència de degradació d'hàbitat dunar a les platges de la província de Barcelona on quasi el 80% de les dunes han desaparegut i més del 20% han disminuït d'extensió. També els municipis litorals barcelonins destaquen per la manca de casos on les dunes han sofert canvis poc rellevants entre els períodes estudiats. Per contra, la província de Tarragona és la província que menys afectada per la transformació del paisatge dunar. Tot i que el nombre de platges que han sofert canvis pocs significatius es situa per damunt de la mitjana catalana (13%), prop del 40% de dunes han disminuït d'extensió i menys del 50% han desaparegut (Figura 66). En nombres absoluts Tarragona és la regió que més platges amb dunes presentava en el passat i que més dunes conserva actualment: 79 i 59 platges respectivament (vegeu Figura 66 i Figura 50). En segon lloc, la segueix la província de Girona que tenia 72 platges amb dunes entre 1890 i 1960, vers les 40 que conserva actualment (vegeu Figura 66 i Figura 50). Finalment, la cua l'encapçala Barcelona amb 50 platges amb dunes en el passat, de les quals 28 compten amb alguna morfologia dunar (vegeu Figura 66 i Figura 50).

Convé recalcar que a més de les dunes que han sofert pocs canvis i les dunes que han disminuït d'extensió, les platges actuals també compten amb morfologies dunars que han estat recuperades després del procés de destrucció de l'hàbitat dunar i dunes situades en platges de nova formació. L'Annex 6 detalla quines platges són de nova formació i a quines hi ha recuperat les dunes després d'un procés previ de desaparició. A més a més, les dades de transformació dunar estan àmpliament detallades a l'Annex 7 on s'ordenen els 201 casos estudiats de nord a sud, es classifiquen per províncies i se'n detalla el tipus de transformació.

5.2.2. Factors de transformació del paisatge dunar

Algunes variables utilitzades expliquen parcialment el tipus de transformació que ha afectat el paisatge dunar al llarg de les darreres dècades. Una anàlisi de correspondències múltiples (MCA), ha permès detectar quina relació s'estableix entre diversos factors:

- 1 - Les tres categories de transformació detectades (desaparició dunar / disminució de l'hàbitat dunar / canvis poc rellevants);
- 2 - El tipus de costa (costa alta / costa baixa); i

3 - L'existència d'una figura de protecció com a espai natural en base a les categories establertes per la International Union for Conservation of Nature (Ia / II/ III/ IV/ V/ VI/ no protecció) detallades a la Taula 8.

La Figura 67 és un gràfic bidimensional que forma part de les solucions de 10 dimensions (3 pels tipus de canvis, 2 pel tipus de costa i 5 pel grau de protecció de l'espai). Cada dimensió s'interpreta com la contribució de cadascuna de les variables a aquesta dimensió. Cal tenir en compte que tot i que hi ha 7 figures de protecció possibles segons la IUCN, només s'han identificat 5 categories de protecció a l'àrea d'estudi.

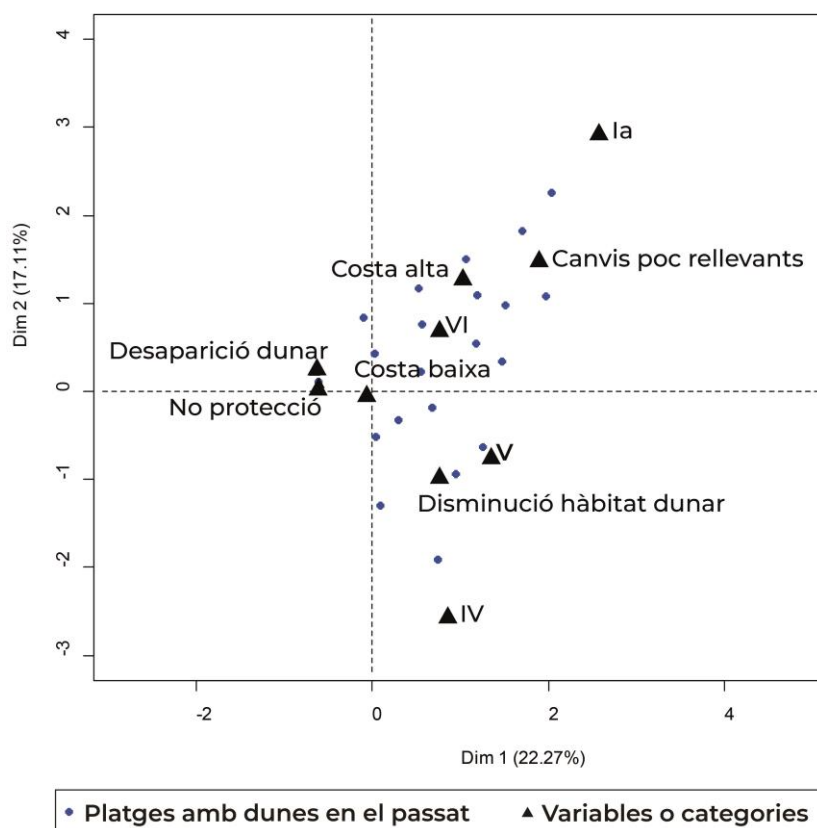


Figura 67. Gràfic bidimensional de l'anàlisi de correspondències múltiples (MCA) entre les variables estudiades (tipus de transformació, tipus de costa i tipus de protecció de l'espai). El percentatge d'inèrcia explicat és del 39,38%.

Les dues primeres dimensions factorials es dibuixen per examinar les associacions entre les categories. El primer pla factorial representa el 39,38% de la variància de les dades. La primera dimensió (que explica el 22,27% de la variància) representa les àrees no protegides on les dunes han desaparegut, vers les àrees naturals amb alts nivells de protecció, on aquestes han sofert canvis poc rellevants. La segona dimensió (que representa el 17,11% de la variància) contrasta les àrees naturals protegides situades a la costa alta i que no han sofert canvis rellevants, vers les àrees amb nivells de protecció mitjans on s'ha disminuït l'hàbitat dunar.

L'anàlisi de correspondències múltiples a escala provincial (Figura 68) confirma que Girona i Tarragona segueixen el mateix patró que la resta de Catalunya. En canvi, Barcelona mostra un esquema diferent ja que no mostra la categoria de dunes que hagin sofert canvis poc rellevants.

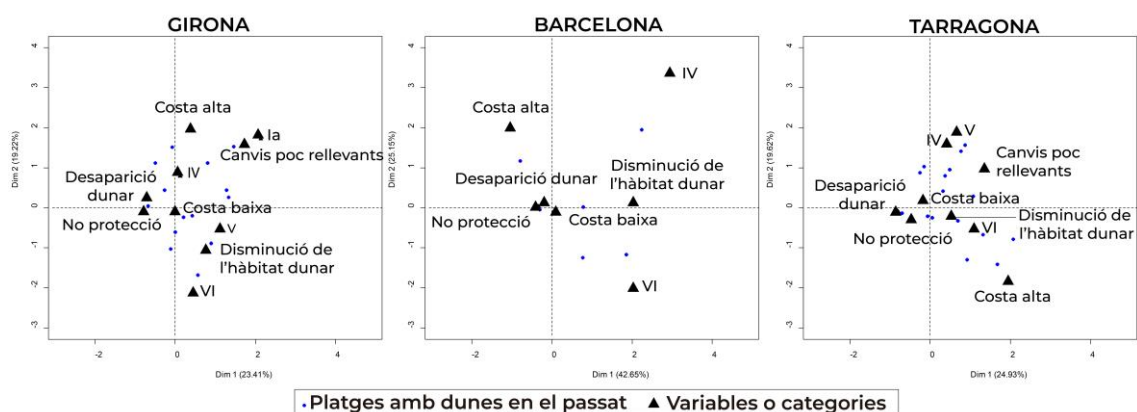


Figura 68. Gràfic bidimensional de l'anàlisi de correspondències múltiples (MCA) per àmbit provincial

En relació a la Figura 67 i la Figura 68, el lector podria esperar un nombre de punts equivalent a les platges estudiades (201). En aquest punt, cal matisar que moltes platges segueixen el mateix patró en relació a les variables dels tres factors estudiats, motiu pel qual alguns punts queden superposats dins el pla bidimensional de la gràfica. En el cas de la Figura 67, els diferents comportaments de les platges queden recollits amb els 20 punts representats. Mentre que per a les gràfiques de la Figura 68, aquest nombre és forçosament menor, al tractar-se d'una anàlisi detallada a escala provincial.

5.2.3. Canvi d'usos del sòl a l'entorn de la platja

En aquest apartat s'analiza en quina mesura els canvis d'usos i cobertes del sòl de l'entorn immediat de la platja han influenciat la degradació dunar entre 1890 i 1960. S'han comparat els usos del sòl de l'entorn immediat de les 201 platges amb la tipologia d'usos del sòl que presenten avui dia. Aquesta anàlisi s'ha realitzat per províncies (Taula 13) i per tipus de transformació (Taula 14).

La Taula 13 representa els usos del sòl de 1956-57 de les platges on s'ha identificat dunes entre 1890 i 1960 per àmbit provincial; així com també indica els usos del sòl actuals (2019). La informació compilada en aquesta taula no contempla el tipus de canvi que s'hi ha produït (desaparició dunar, disminució de l'hàbitat dunar i canvis poc significatius). Noteu que segons la metodologia utilitzada, una mateixa platja no pot computar més d'una vegada si està envoltada per diversos usos simultàniament. A tall de recordatori, convé remarcar que les platges que actualment comprenen més d'una tipologia d'usos del sòl al seu entorn, s'han segmentat d'acord amb l'actual patró d'ocupació del sòl (per a més detall vegeu el punt 4.1. *Classificació i identificació de sistemes platja-duna* de l'apartat de *Metodologia*).

En el passat més del 70% dels sistemes platja-duna estaven envoltats per ambients agraris i naturals (corresponent a les 146 platges que sumen les categories de camps de cultiu, de bosc/brolla i de zones humides -Taula 13-). En contraposició aquest patró paisatgístic, avui dia gairebé el 70% dels sistemes platja-duna es troben en un entorn urbanitzat (equivalent a les 137 platges que apleguen les categories d'àrees urbanes de baixa i alta densitat, de càmpings, de vies de comunicació, d'esculleres i de ports -Taula 13-). Així, les platges han passat de tenir un entorn natural o de paisatge tradicional a tenir-lo eminentment transformat pel procés urbanitzador. L'aparició de noves cobertes del sòl relacionades amb activitats turístiques com ara els aparcaments a la sorra o els càmpings (Figura 69), i en menor mesura les esculleres i els ports han contribuït a la urbanització del litoral. Com a

mostra il·lustrativa d'aquest canvi paisatgístic consulteu la Figura 34 on s'exemplifica la transformació del paisatge dunar tradicional a causa de la implementació de nuclis urbanístics i complexos turístics, com urbanitzacions i càmpings.

Taula 13. Número de platges per l'àmbit provincial segons els usos del sòl de l'entorn immediat en el passat (1956-57) i actuals (2019)

USOS DEL SÒL	Girona		Barcelona		Tarragona		Catalunya	
	Passat	Present	Passat	Present	Passat	Present	Passat	Present
Camps de conreu	29	3	15	-	34	7	78	10
Badia*	-	-	-	-	2	2	2	2
Bosc i brolla	17	12	6	4	19	13	42	29
Àrea urbana d'alta densitat	6	21	7	20	-	28	13	69
Àrea urbana de baixa densitat	5	17	5	16	4	8	14	41
Roques	2	2	-	-	-	-	2	2
Vies de comunicació	5	2	15	5	4	3	24	10
Zones humides	8	5	2	2	16	10	26	17
Aparcament a la sorra	-	3	-	1	-	-	-	4
Càmpings	-	5	-	1	-	7	-	13
Escullera	-	2	-	-	-	1	-	3
Port	-	-	-	1	-	-	-	1
TOTAL		72		50		79		201

* La categoria de "badia" correspon a les badies dels Alfacs i del Fangar, al delta de l'Ebre

Amb tot això, els usos agraris són, sens dubte, les cobertes del sòl que més han vist reduïda la seva presència a l'entorn de les platges (Figura 69 i Figura 70), seguides per les masses forestals i les zones humides. Les categories més afavorides pel canvi han estat l'increment de les àrees residencials i de l'espai improductiu artificial, com ports, esculleres, càmpings, aparcaments de sorra o vies de comunicació. En aquest sentit, noteu que la disminució de les vies de comunicació és una xifra un tan enganyosa ja que no han desaparegut en realitat, sinó que al seu voltant s'hi ha adherit un continu urbà que ha permès quantificar aquests espais com a zones residencials a l'anàlisi de la Taula 13.

La tendència per províncies és molt similar a la del conjunt català, excepte per les zones humides de Barcelona que, a diferència de la resta d'indrets, no han disminuït sinó que s'ha conservat els dos únics casos que hi havia, corresponents a dues platges del Prat del Llobregat.

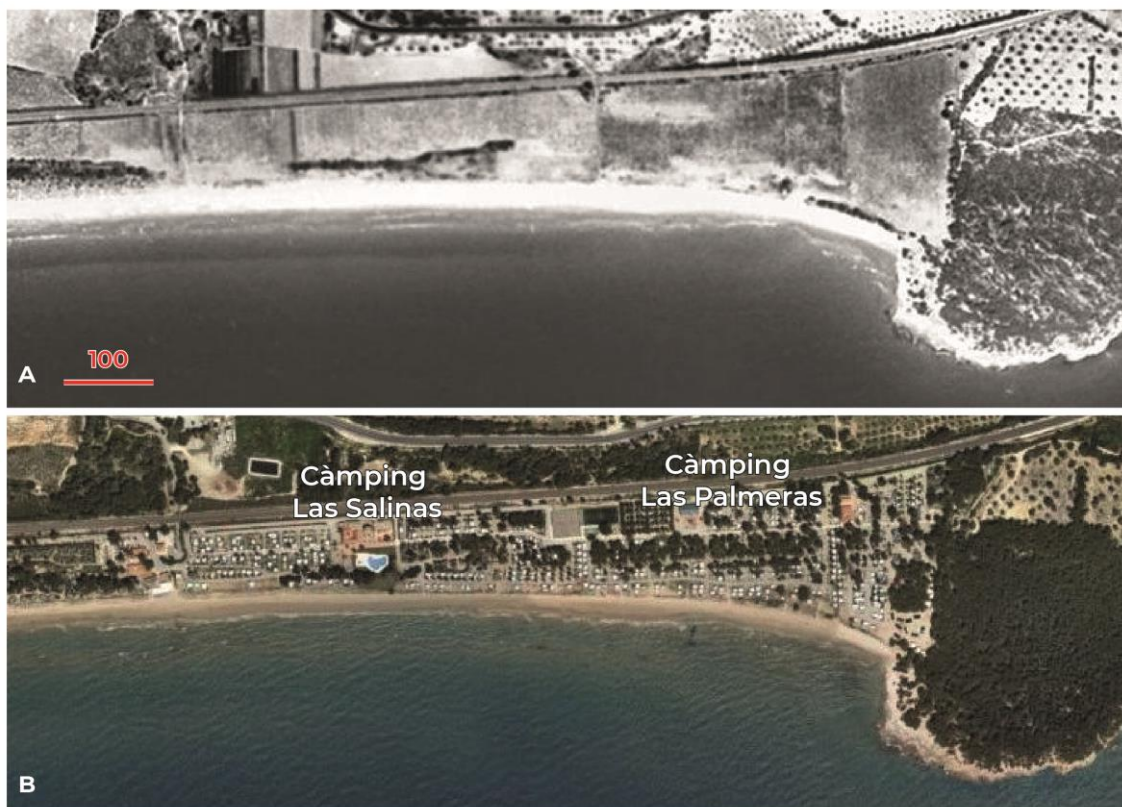


Figura 69. Canvis paisatgístics a la platja Llargueta de Tarragona entre 1956-57 (A) i 2015 (B). Les dunes de la platja Llargueta han disminuït d'extensió i el seu entorn immediat a passat de tenir un caràcter eminentment agrari (A) a tenir-lo urbanitzat (B). El càmping *Las Salinas* i el càmping *Las Palmeras* formen un continu urbà indissociable que ocupa la meitat oriental de la platja

Font: ICGC (2018) i Servicio Geográfico del Ejército & Army Map Service (1957)



Figura 70. Canvis paisatgístics a la platja de la Llosa (Cambrils, Tarragona) entre 1956-57 (A) i 2015 (B). Actualment les dunes han desaparegut i el seu entorn immediat a passat de tenir un caràcter eminentment agrari (A) a tenir-ne un d'urbanitzat (B). Un conjunt d'espigons perpendiculars a la costa (B) fan front l'erosió costanera que pateix la zona i converteixen l'antiga platja lineal del nucli de Cambrils, en una multitud de platges separades per tómbols originats per l'acció dels espigons.

Font: ICGC (2018) i Servicio Geográfico del Ejército & Army Map Service (1957)

La Taula 14, per contra, mostra els canvis dels usos del sòl entre 1956-57 i actualment (2019) segons el tipus de transformació ocorreguda a les 201 platges per mitjà d'una taula de doble entrada. Al seu torn, cada tipus de transformació està representat per mitjà de tres taules independents que detallen les cobertes del sòl del passat (files) i les actuals (columnes). Aquesta representació de les dades permet identificar els canvis d'usos del sòl des del passat, seguint cadascuna de les files, al mateix temps que permet determinar quins usos del sòl hi havia en el passat vers els usos del sòl actuals, seguint les columnes. El detall dels 201 casos analitzats es pot consultar a l'Annex 7 on, a més del tipus de transformació, es detallen les cobertes del sòl de 1956-57 i les de 2019.

Taula 14. Usos del sòl de l'entorn de la platja el 1956-57 i actualment segons tipus de transformació. El nombre total de platges per cada tipus d'ús del sòl està indicat en negreta al final de cada fila, pels usos del sòl de 1956-57, i cada columna, pels usos actuals. Seguint les files i columnes, respectivament, es poden esbrinar els canvis en els usos del sòl per a cada cas concret. El nombre de platges en la línia diagonal marcada en gris indica la permanència en els usos del sòl, mentre que els usos al marge d'aquesta diagonal indiquen els canvis.

A) Desaparició dunar:

Present \ Passat	Present										
	Camps de conreu	Bosc / brolla	Àrea urbana d'alta densitat	Àrea urbana de baixa densitat	Vies de comunicació	Zones humides	Aparcaments de sorra	Càmping	Escullera	Port	TOTAL
Camps de conreu	2	2	30	12	2	-	2	5	1	1	57
Bosc / brolla	-	3	2	8	-	-	-	1	1	-	15
Àrea urbana d'alta densitat	-	-	13	-	-	-	-	-	-	-	13
Àrea urbana de baixa densitat	-	-	8	6	-	-	-	-	-	-	14
Vies de comunicació	-	-	9	3	4	-	2	-	-	-	18
Zones humides	1	-	2	1	-	1	-	-	-	-	5
TOTAL	3	5	64	30	6	1	4	6	2	1	122

B) Disminució de l'hàbitat dunar:

Present \ Passat	Present									
	Camps de conreu	Badia	Bosc / brolla	Vies de comunicació	Zones humides	Àrea urbana d'alta densitat	Àrea urbana de baixa densitat	Càmping	Escullera	TOTAL
Camps de conreu	2	-	5	-	-	3	2	4	1	17
Badia	-	1	-	-	-	-	-	-	-	1
Bosc / brolla	-	-	12	-	-	1	7	1	-	21
Vies de comunicació	-	-	-	3	-	1	1	-	-	5
Zones humides	2	-	1	-	11	-	-	2	-	16
TOTAL	4	1	17	3	11	5	10	7	1	60

C) Canvis poc rellevants en l'hàbitat dunar:

Present \ Passat	Present							
	Camps de conreu	Badia	Bosc / brolla	Roques	Vies de comunicació	Zones humides	Àrea urbana de baixa densitat	TOTAL
Camps de conreu	3	-	-	-	-	-	1	4
Badia	-	1	-	-	-	-	-	1
Bosc / brolla	-	-	6	-	-	-	-	6
Roques	-	-	-	2	-	-	-	2
Vies de comunicació	-	-	-	-	1	-	-	1
Zones humides	-	-	-	-	-	5	-	5
TOTAL	3	1	6	2	1	5	1	19

Desaparició dunar

Els usos del sòl actuals representats a les columnes de la Taula 14A apunten que quasi la totalitat de les dunes desaparegudes actualment es troben en àrees urbanitzades (113 dels 122 casos corresponents a les categories d'àrees urbanes, de vies de comunicació, d'aparcaments, de càmpings, d'esculleres i de ports). Destaca, en aquest sentit, l'emergència d'àrees urbanes d'alta densitat (64 casos), d'àrees urbanes de baixa densitat (30 casos) i, en menor mesura, d'infraestructures de transport (6 casos) i càmpings (6 casos). Les files d'aquestes categories indiquen l'entorn originari d'aquestes platges: tan sols 2 de les 55 platges agràries en el passat presenten també un entorn conreat actualment. Es tracta de la platja del Goleró i la platja del Fangar, al delta de l'Ebre (Annex 7). Les platges amb entorns agraris en el passat (57 casos) han estat majorment substituïdes per àrees residencials (42 platges) i, en un segon ordre d'importància càmpings (5 casos). N'és un exemple clar la platja de la Llosa de Cambrils (Tarragona) il·lustrada a la Figura 69 i que ha canviat l'entorn de conreus per una àrea urbana d'alta densitat.

Igualment, de les 15 platges vorejades per boscos o brolles en el passat, només 3 mantenen avui l'entorn forestal (majoritàriament localitzades a la província de Girona -Annex 7-), mentre que les 12 restants presenten entorns artificialitzats. Finalment, de les 5 platges rodejades per maresmes o aiguamolls en el passat, només 1 conserva aquest entorn natural (la platja de l'Arenal, al delta de l'Ebre), mentre que la resta han estat urbanitzades (3 casos) o han esdevingut salines (la platja del Trabucador, al delta de l'Ebre). Cal aclarir que les salines de la Punta de la Banya s'han comptabilitzat com a camps de conreu al tractar-se d'un únic cas aïllat en el conjunt de la costa catalana, motiu pel qual no se'ls ha concedit una categoria pròpiament.

Tanmateix, la Taula 14A il·lustra un altre procés urbanitzador al marge de les zones residencials o allotjaments turístics. Es tracta de la desaparició de dunes costaneres a causa de l'emplaçament d'infraestructures portuàries. Es tracta de les dunes situades a l'hemidelta nord del Llobregat, transformació il·lustrada a la Figura 106 de l'apartat de Discussió.

Disminució de l'hàbitat dunar

La Taula 14B mostra el canvi d'usos del sòl en platges on les dunes han disminuït d'extensió. En aquest cas, també la transformació paisatgística està liderada per la pèrdua d'entorns naturals o tradicionals en benefici d'espais residencials i complexos turístics. Convé subratllar que, en aquesta ocasió, el canvi de cobertes del sòl no ha estat tan acusat: actualment més de la meitat de platges mantenen les categories de bosc/brolla, de camps de conreu o de zones humides (33 dels 60 casos), malgrat la pèrdua.

També en aquesta ocasió ressalta la pèrdua de pes significatiu en entorns conreats on tan sols 2 de les 17 platges agrícoles menten avui el seu caràcter tradicional. Es tracta de dues platges situades al municipi de Sant Pere Pescador (golf de Roses), la platja del Cortal de la Vila i la platja de cal Cristià (Annex 7). La resta d'espais han esdevingut complexos residencials d'alta o baixa densitat (5 casos); han estat colonitzats per vegetació espontània (boscos/brolla) a causa de l'abandonament dels camps (5 casos); o bé han estat substituïts per càmpings (4 platges). Preneu com a exemple visual la Figura 69 que recull el canvi paisatgístic de la platja Llarga de Tarragona on dos complexos turístics, el càmping *Las Salinas* i el càmping *Las Palmeras*, han colonitzat un espai tradicionalment agrícola.

En un segon ordre de significació en relació al canvi paisatgístic es situen les platges tradicionalment envoltades per masses forestals i zones humides. De les 21 platges vorejades per boscos i brolles actualment en conserven l'entorn 12 platges, la resta de casos han esdevingut àrees residencials i càmpings. Al seu torn, de les 16 platges envoltades per aiguamolls i maresmes en el passat, 11 segueixen presentant espais de maresmes. Només 5 casos han sofert canvis d'usos del sòl: es tracta de la platja de l'Arana i la platja de la Marquesa (al delta de l'Ebre), que han esdevingut arrossars. Així mateix, la platja de la

Fonollera (a la badia de Pals) i el sector sud de la platja de Creixell han deixat de ser eminentment agràries per delimitar amb càmpings. La platja restant correspon al sector central de la platja de Creixell que quedat relegada entre espais urbanitzats i ha esdevingut un espai de brolla (vegeu l'Annex 7 per a més detalls). El resultat d'aquest procés es pot exemplificar amb la Figura 31 que reproduïx el sector sud de la platja de Creixell, on el càmping La Gavina contribueix clarament a la destrucció de bona part de les formacions dunars.

Canvis poc rellevants en l'hàbitat dunar

Finalment, la Taula 14C indica que les platges que han sofert canvis poc significatius tampoc han patit canvis d'usos del sòl. En aquests casos hi predominen els usos dels sòl forestals, les zones humides i, en menor proporció, els terrenys conreats. La única excepció es tracta del sector nord de la platja d'Empúries que ha passat d'estar vorejat per camps de conreu a tenir entorn residencial de baixa densitat.

5.3. Indicadors per descriure el sistema platja-duna i quantificar-ne el potencial de restauració dunar

5.3.1. StaDun VS BeaPot, CoMan i SurLan

Els resultats obtinguts dels quatre índexs basats en llistes de control descriuen les platges de forma integrada tenint en compte diversos factors que interaccionen en el sistema platja-duna: l'estat geomorfològic i ecològic de les dunes (StaDun), el potencial de les platges per desenvolupar dunes segons les seves característiques ambientals (BeaPot), les accions de conservació i gestió del sistema platja-duna (CoMan), i el paisatge de l'entorn immediat de la platja (SurLan). En aquest apartat es quantifica el desenvolupament dunar (StaDun) i es relaciona amb els altres factors que intervenen en el sistema platja-duna (BeaPot, el CoMan i SurLan), per determinar en quina mesura el desenvolupament dunar està vinculat a altres factors que influencien la seva formació i desenvolupament. La Figura 47 de l'apartat de *Metodologia* localitza amb detall els 50 casos d'estudi que s'eludeixen al llarg d'aquest subapartat de la tesi.

Pel que fa la tipologia de platja segons el grau de naturalitat, val a dir que les 10 dunes més desenvolupades (StaDun > 0.61 -Taula 15-) es situen en platges naturals (platges 50, 49, 37, 2 i 5, a la Figura 47) i en platges urbanitzades (casos 20, 46, 19, 28, i 45, a la Figura 47). Les platges naturals alberguen dunes de desenvolupament mitjà i alt (StaDun > 0.66), mentre que les dunes situades en platges urbanes són de desenvolupament baix i mitjà (StaDun < 0.66). A mig camí entre les platges naturals i les urbanes, es situen les platges urbanitzades que allotgen morfologies dunars amb un ampli ventall de desenvolupament (valors d'StaDun d'entre 0 i 1). Tot i això, la major part de platges urbanitzades compten amb dunes de desenvolupament mitjà i baix (valors de l'índex StaDun < 0.66 -Taula 15-, corresponents a les platges 3, 4, 6, 22, 25, 26, 27, 32, 33, 34 i 40). Per a més detall sobre la diferència entre platges naturals, urbanitzades i urbanes, vegeu l'apartat 4.3.3. *Casos d'estudi* situat dins la metodologia del present treball.

Taula 15. Valors dels 50 casos d'estudi per als índexs StaDun, BeaPot, CoMan, SurLan, DRP. El tipus de platja s'ha establert segons la terminologia utilitzada per Ariza et al. (2008). L'evolució de les morfologies dunars des del període 1890 – 1960 a l'actualitat correspon a: dunes que han disminuït d'extensió (●); dunes que han sofert canvis poc rellevants (●); dunes desaparegudes (●); dunes recuperades després d'un procés de destrucció de l'hàbitat (●); i dunes situades a platges de nova formació -desenvolupades a causa de l'alteració en el transport longitudinal vinculat a la construcció d'infraestructures paral·leles o perpendiculars a la costa- (●).

Codi	Evolució	Platja	Província	Tipus de platja	StaDun	BeaPot	CoMan	SurLan	DRP
1	●	de Garbet sector sud	Girona	Urbanitzada	0.43	0.53	0.56	0.58	0.23
2	●	de la cala Borró	Girona	Natural	0.61	0.67	0.58	1.00	0.28
3	●	del Salatar	Girona	Urbana	0.18	0.83	0.06	0.00	0.78
4	●	de Sta Margarita	Girona	Urbana	0.20	0.94	0.08	0.00	0.87
5	●	de la Rovina	Girona	Natural	0.61	0.92	0.46	0.92	0.50
6	●	d'Empuriabrava	Girona	Urbana	0.36	0.83	0.08	0.00	0.76
7	●	de Can Comes	Girona	Natural	0.48	0.75	0.79	0.83	0.16
8	●	de Can Martinet	Girona	Natural	0.43	0.86	0.58	1.00	0.36
9	●	de Can Nera	Girona	Natural	0.43	0.86	0.75	0.92	0.22
10	●	de Can Sopa	Girona	Natural	0.41	0.86	0.77	0.67	0.20
11	●	de Cal Cristià	Girona	Urbanitzada	0.39	0.86	0.38	0.67	0.54
12	●	del Cortal de la Vila	Girona	Urbanitzada	0.50	0.86	0.19	0.50	0.70
13	●	del Cortal de la Devesa	Girona	Urbana	0.39	0.83	0.19	0.17	0.68
14	●	del Riuet	Girona	Natural	0.52	0.86	0.42	0.92	0.50
15	●	dels Riells	Girona	Urbana	0.18	0.89	0.08	0.00	0.81
16	●	de la cala Montgó	Girona	Urbana	0.18	0.86	0.08	0.08	0.79
17	●	de l'Estartit sector nord	Girona	Urbana	0.41	0.89	0.00	0.00	0.89
18	●	de la Pletera	Girona	Natural	0.52	0.72	0.79	1.00	0.15
19	●	de la Fonollera	Girona	Urbanitzada	0.68	0.83	0.58	0.42	0.35
20	●	de Pals	Girona	Urbanitzada	0.75	0.83	0.60	0.42	0.33
21	●	del Racó	Girona	Urbanitzada	0.27	0.61	0.21	0.25	0.48
22	●	de sa Riera	Girona	Urbana	0.18	0.72	0.08	0.08	0.66
23	●	del Castell	Girona	Natural	0.48	0.69	0.71	0.92	0.20
24	●	de la cala Fosca	Girona	Urbana	0.27	0.75	0.33	0.08	0.50
25	●	de la Pomereda	Barcelona	Urbana	0.25	0.44	0.13	0.00	0.39
26	●	del Cavalló	Barcelona	Urbana	0.18	0.50	0.31	0.08	0.34
27	●	de Llevant	Barcelona	Urbana	0.18	0.44	0.15	0.00	0.38
28	●	del Prat	Barcelona	Urbanitzada	0.61	0.75	0.19	0.67	0.61
29	●	de la Pineda	Barcelona	Urbanitzada	0.55	0.83	0.23	0.67	0.64
30	●	de Gavà	Barcelona	Urbanitzada	0.52	0.67	0.17	0.67	0.56
31	●	de Castelldefels	Barcelona	Urbana	0.41	0.83	0.08	0.00	0.76
32	●	de les Madrigueres	Tarragona	Urbana	0.18	0.81	0.06	0.00	0.76
33	●	de Coma-ruga	Tarragona	Urbana	0.18	0.81	0.06	0.00	0.76
34	●	de la Pelliceta	Tarragona	Urbana	0.18	0.78	0.06	0.00	0.73
35	●	de Berà	Tarragona	Urbana	0.43	0.67	0.13	0.00	0.58
36	●	de Creixell sector nord	Tarragona	Urbana	0.48	0.75	0.31	0.00	0.52
37	●	dels Muntanyans	Tarragona	Natural	0.75	0.78	0.71	0.75	0.23
38	●	de la Paella	Tarragona	Urbana	0.50	0.83	0.35	0.00	0.54
39	●	de Tamarit	Tarragona	Urbanitzada	0.48	0.89	0.38	0.50	0.56
40	●	de la Móra	Tarragona	Urbana	0.14	0.78	0.08	0.00	0.71
41	●	Llarga	Tarragona	Urbana	0.41	0.83	0.17	0.08	0.69
42	●	de l'Estany Gelat	Tarragona	Urbanitzada	0.48	0.72	0.40	0.67	0.44
43	●	de Cristall	Tarragona	Urbana	0.43	0.72	0.10	0.00	0.65
44	●	de l'Arenal	Tarragona	Urbana	0.36	0.72	0.04	0.08	0.69
45	●	del Torn	Tarragona	Urbanitzada	0.61	0.61	0.38	0.58	0.38
46	●	de la cala Justell	Tarragona	Urbanitzada	0.70	0.78	0.60	0.75	0.31
47	●	de St Jordi d'Alfama	Tarragona	Urbanitzada	0.39	0.83	0.10	0.75	0.75
48	●	de la cala Forn	Tarragona	Urbanitzada	0.20	0.81	0.04	0.58	0.77
49	●	del Fangar	Tarragona	Natural	0.77	0.83	0.98	1.00	0.02
50	●	de Riumar	Tarragona	Natural	0.77	0.86	0.63	0.75	0.32

Les dunes més desenvolupades des d'un punt de vista geomorfològic i ecològic (valors de l'índex StaDun superiors a 0.66 - Taula 15 i Taula 16-) es troben a la província de Tarragona: al delta de l'Ebre (Riumar -50- i Fangar -49-, a la Figura 47) i a la Costa Daurada (Muntanyans -37-, Cala Justell -46-; i el Torn -45-, a la Figura 47). La província de Girona compta amb el segon sector més destacat pel que fa a desenvolupament dunar: el Baix Ter (Pals -19- i la Fonollera -20-, a la Figura 47), seguit per altres sectors localitzats al cap de Creus (Cala Borró -2- a la Figura 47) i a l'Alt Empordà (la Rovina -5-, a la Figura 47). Finalment, la província de Barcelona destaca per les dunes desenvolupades que trobem al delta del Llobregat (el Prat -28- i la Pineda -29-, a la Figura 47).

La major part de platges estudiades denoten bones condicions ambientals per al desenvolupament dunar (BeaPot > 0.66 -Taula 15-). Aquesta és la tendència contrària de l'indicador de gestió que presenta valors baixos (CoMan < 0.33 -Taula 15-) en la major part de sistemes estudiats. Les accions de gestió favorables al desenvolupament dunar (CoMan > 0.66 -Taula 15-) només s'apliquen a 7 platges, localitzades majoritàriament a la Costa Brava. En darrer terme, el paisatge de l'entorn de la platja també revela una situació desfavorable al desenvolupament dunar (SurLan < 0.33 -Taula 15-). Les platges menys rígides i amb menys pressió urbanística (SurLan > 0.66 -Taula 15-) es localitzen a la província de Girona, seguides, en menor mesura, per les de la Costa Daurada.

Taula 16. Nombre de platges segons els resultats d'StaDun, BeaPot, CoMan i SurLan per àmbit provincial

Índex	Província	Alt (>0.66)	Mitjà (entre 0.33 i 0.66)	Baix (>0.33)
StaDun	Girona	2	15	7
	Barcelona	-	4	3
	Tarragona	4	10	5
	TOTAL	6	29	15
BeaPot	Girona	22	2	-
	Barcelona	4	3	-
	Tarragona	18	1	-
	TOTAL	43	6	-
CoMan	Girona	5	9	10
	Barcelona	-	-	11
	Tarragona	2	6	7
	TOTAL	7	15	28
SurLan	Girona	10	4	10
	Barcelona	3	-	4
SurLan	Tarragona	6	3	10
	TOTAL	19	7	24

L'estat geomorfològic i ecològic de les dunes (StaDun) està correlacionat amb les accions de conservació i gestió del sistema platja-duna (CoMan) i amb el paisatge de l'entorn immediat de la platja (SurLan) amb valors d'R de 0.68 i 0.66, respectivament (Figura 71). Per contra, StaDun no mostra cap tipus de relació amb BeaPot (R = 0.03). Els casos que disten de la línia de regressió han estat agrupats (Figura 110) i se n'han ressaltat les seves particularitats en l'apartat de *Discussió*.

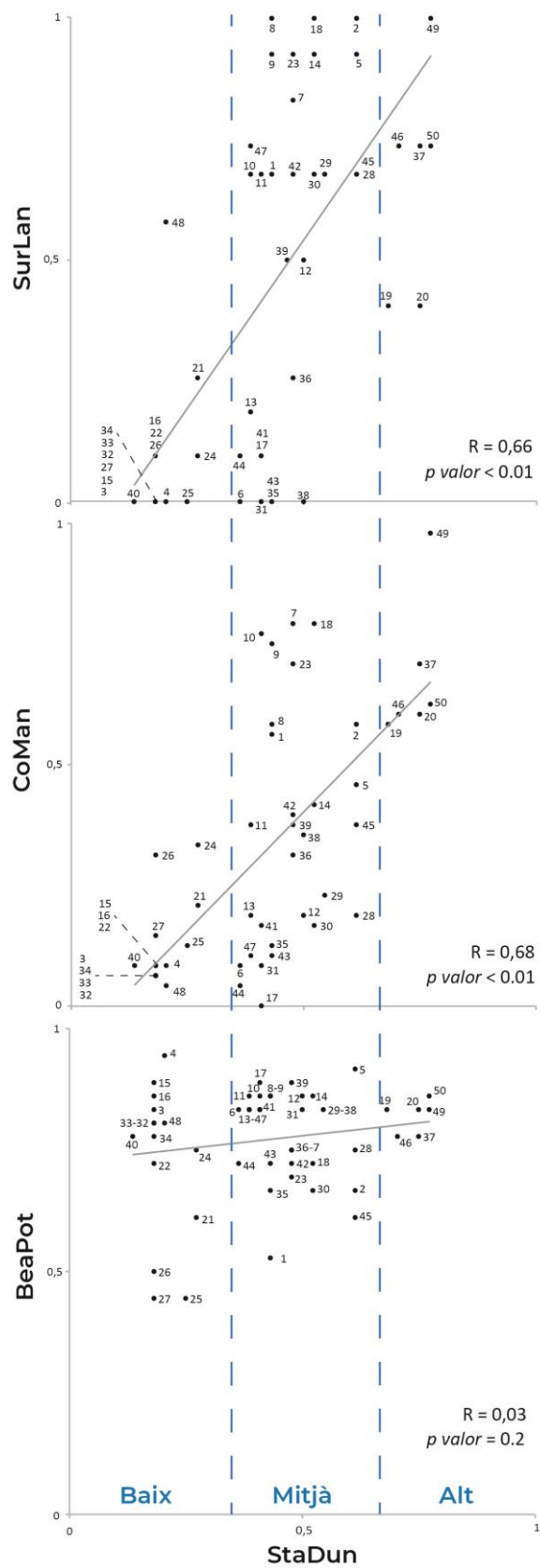


Figura 71. Relació entre el desenvolupament dunar (StaDun) i la resta d'indicadors del sistema platja-duna (BeaPot, CoMan i SurLan)

5.3.2. Potencial de restauració dunar (DRP)

L'índex de potencial de restauració dunar (DRP) és directament proporcional al potencial de desenvolupament dunar de les platges (BeaPot) i inversament proporcional a les mesures de conservació i gestió que s'hi duguin a terme (CoMan): $DRP = BeaPot \cdot (1 - CoMan)$.

La Taula 15 i la Taula 17 mostren que la major part de les platges analitzades presenten un potencial de restauració dunar mitjà (21), seguides per les que compten amb un potencial de restauració alt (18). Unes poques platges (11) evidencien potencials de restauració baixos. Les platges amb un alt potencial de restauració dunar ($DRP > 0.66$) es troben en platges urbanes (platges 3, 4, 6, 15, 16, 17, 31, 32, 33, 34 i 40), i, en menor mesura, en platges urbanitzades (casos 12, 47 i 48) (Taula 15). En canvi, les platges naturals presenten poc potencial de restauració dunar ($DRP < 0.33$). La descripció provincial dels resultats (Taula 17) indica que Girona i Tarragona concentren les platges amb alts potencials de restauració, mentre que només la platja de Castelldefels té un potencial de restauració dunar alt a la costa de Barcelona (Taula 15).

Taula 17. Nombre de platges segons els resultats de l'índex DRP per àmbit provincial

Província	Alt (>0.66)	Mitjà (entre 0.33 i 0.66)	Baix (>0.33)
Girona	9	7	7
Barcelona	1	7	0
Tarragona	8	7	4
TOTAL	18	21	11

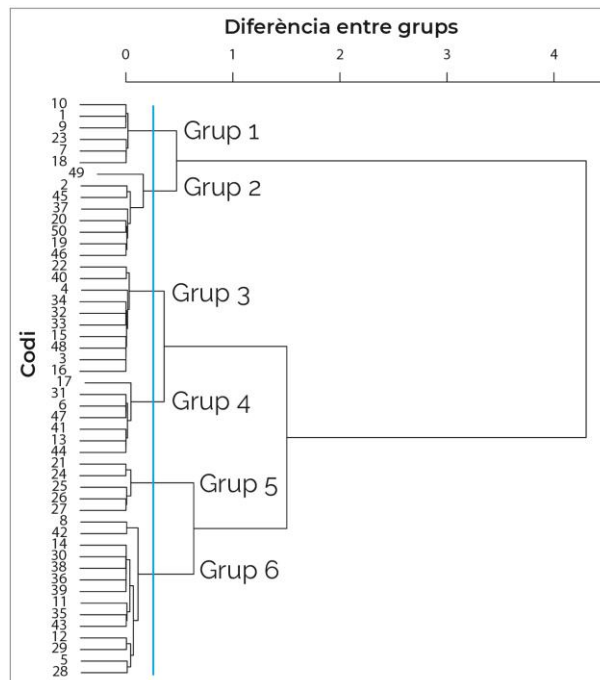


Figura 72. Anàlisi de clústers segons els resultats obtinguts d'StaDun i DRP

L'anàlisi de clúster entre els valors obtinguts d'StaDun i DRP per a les 50 platges mostrejades ha permès classificar la variabilitat de resultats obtinguts en sis grups (Figura 72). Aquesta agrupació és degudament descrita i analitzada a la secció de *Discussió*.

6. Discussió



6.1. Les dunes a Catalunya, passat i present

Els vents dominants al litoral català són de terra cap a mar (*offshore*) i paral·lels a la costa (*alongshore*) (Figura 30), fet que explica la poca alçada de les dunes a l'àrea d'estudi. Fins i tot les dunes més ben desenvolupades de Catalunya, situades al delta de l'Ebre, són de menor entitat que les dunes situades a les costes atlàntiques europees, les quals tenen més disponibilitat de sediments i règims eòlics més favorables a la formació i desenvolupament dunar (Fabbri, 1990). A més, al marge de les diferències geoambientals, la pressió urbanística al litoral atlàntic és molt menor a la del litoral mediterrani, on més del 80% de la població es concentra al litoral (Curr et al., 2000; Heslenfeld et al., 2004). És justament a les platges urbanitzades (Figura 51) on s'ha identificat morfologies dunars fortament deteriorades per l'acció antròpica associada. Sobretot els cordons dunars i les dunes en rampa confinades entre la platja i les estructures artificials són les *foredunes* més afectades per la degradació d'origen antròpic. Les platges turístiques presenten morfologies dunars malmeses a causa de la prevalença dels usos recreatius vers als usos naturals o de protecció (Ariza, 2011; Ariza et al., 2010; Lozoya et al., 2014; Williams & Micallef, 2009; Yepes, 2002). L'acció del trepig, la implementació de serveis i l'efecte de la neteja mecànica (Brown & McLachlan, 2002; Curr et al., 2000; de Luca et al., 2011; Defeo et al., 2009; Nordstrom, 2000; Nordstrom et al., 2011; Perry & D' Miel, 1995; Roig-Munar, 2004) són els principals responsables de la degradació dunar. La pressió turística i l'increment dels temporals vinculats al canvi climàtic són els responsables del deteriorament de les morfologies dunars costaneres. La Figura 53, la Figura 56A i, Figura 57A i C i la Figura 73 exemplifiquen gràficament el deteriorament per a freqüentació humana. Amb això, els sistemes dunars de costes humanitzades mostren un estat estructural precari corresponent als estadis de degradació més avançats descrits per Hesp (2002). En el context català, bona part de les 127 platges que alberguen morfologies dunars, presenten estadis de degradació 4 i 5 segons la classificació de Hesp (2002) (Figura 73).

La classificació de tipologies dunars establerta en aquest estudi (Figura 51) és una combinació de morfologies dunars, presents tant en platges naturals i urbanes, que combina aspectes morfològics i ecològics. Així, els cordons dunars (Figura 51, tipus 3) corresponen a les *foredunes* establertes per (Hesp, 1988) i els cordons dunars amb rereduna (Figura 51, tipus 4) corresponen a les *established foredunes* catalogades en el mateix estudi. Pel que fa la classificació de morfologies dunars a les costes urbanitzades, (Nordstrom et al., 2000) va establir un seguit de tipologies a la costa de New Jersey que permet establir certs paral·lelismes amb les propostes de la present tesi. Les dunes en rampa en estructures artificials (Figura 51, tipus 7) corresponen als tipus A1, A2 i A3; mentre que les dunes situades a l'interior d'estructures urbanes (Figura 51, tipus 10) corresponen als tipus B2 i B5 de la classificació estatunidenca.

Les dunes grimpadores i les dunes situades al cim d'un penya-segat (Figura 51, tipus 8 i 9), equivalen a les *climbing dunes* i les *cliff-top dunes* de classificació topogràfica establerta per Goldsmith (1985a, 1985b), que queden ben il·lustrades a la Figura 15. Les dunes en rampa, grimpadores, situades a l'interior d'estructures urbanes o al cim d'un penya-segat (Figura 51, tipus 6 – 10), son tipologies estrictament vinculades a l'obstacle que ha induït aquestes morfologies. Les dunes situades al cim d'un penya-segat no havien estat identificades per altres estudis que classifiquen les dunes del litoral català (Pintó & Garcia-Lozano, 2016; Pintó et al., 2014). La única *cliff-top dune* s'ha localitzat a la platja de St. Jordi d'Alfama, a l'Ametlla de Mar, on el vent de mestral bufa quasi paral·lel a la costa i transporta les fines arenes de la platja cap amunt del rocam que voreja la platja pel sud. La Figura 57B de la secció dels *Resultats* mostra com les acumulacions de sorres han format una duna desconnectada del sistema platja-duna amb una potència aproximada d'un metre en els punts més profunds.

A diferència de la resta de categories, les tipologies dunars lligades a elements topogràfics no estan vinculades a cap comunitat vegetal. És freqüent que les dunes grimpadores

presentin comunitats pròpies dels cordons dunars (com la platja de Canyelles Grossa i Petita de Roses) o d'espais dunars amb rereduna (com la platja de la cala Borró, del Torn o de la cala Justell). En canvi, les dunes en rampa presenten comunitats que habiten les dunes incipients i, en menor mesura, els cordons dunars.



Figura 73. Exemples dels diferents estadis estructurals de les morfologies dunars segons Hesp (2002). **1** – Platja dels Muntanyans; **2** – Platja del Cortal de la Vila; **3** – Platja de Gavà; **4** – Platja Llarga de Tarragona; **5** – Platja de can Martinet

Les dunes en rampa es formen en topar contra un obstacle que generalment forma un angle recte amb la platja i quasi mai arriben a superar-lo (Figura 74B). En canvi, les dunes grimpadores es formen salvant el desnivell que hi ha entre la platja i un obstacle que augmenta de cota progressivament (Figura 74A). Les dunes grimpadores, a diferència de les dunes en rampa, van escalant l'obstacle i, en ocasions, fins i tot, poden quedar aïllades de la platja.

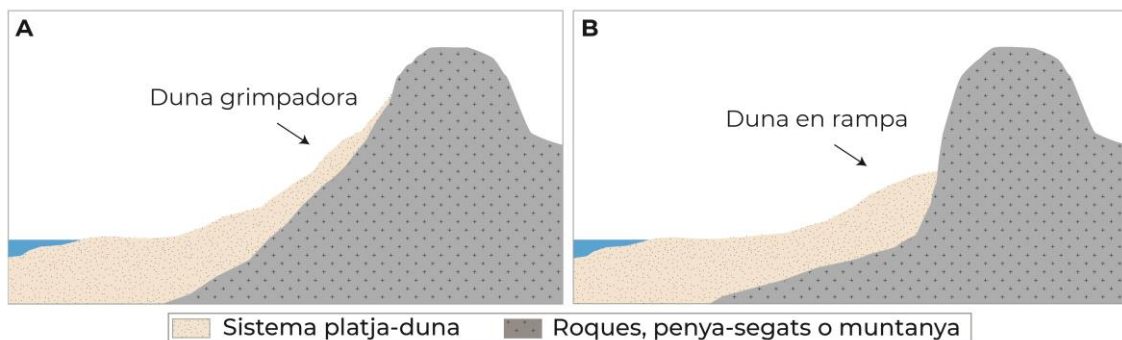


Figura 74. Diferència entre les dunes grimpadores i les dunes en rampa. Mentre les dunes grimpadores o *climbing dunes* (A) tendeixen a recobrir i superar un obstacle, les dunes en rampa (B) es limiten a amuntegar-se als peus d'una estructura natural o urbana que, per les seves característiques topogràfiques, en dificulta l'escalament.

A Catalunya les dunes grimpadores estan canalitzades per formes de relleu, com roques o muntanyes, i, per tant, condicionades per a la topografia. Les dunes grimpadores més extenses formen camps de dunes transversals i parabòliques que escalen els massissos del Montgrí i Begur. Sota la cobertura de pins que actualment cobreix les dunes, encara s'observen les morfologies transversals i parabòliques mòbils que anys enrere escalaven les muntanyes seguint la direcció nord a sud que els marca el vent de tramuntana (Cros & Serra, 1990, 1993). També hi ha dunes grimpadores fixades amb pins al cap de Salou i al cap Ras (municipi de Colera i Llançà). La resta de dunes grimpadores es troben adjacents a les platges, i escalen les muntanyes o roques que les voregen. La cala Borró (Figura 75) mostra una successió d'espais dunars que van des de la duna davantera fins a dunes grimpadores fixades amb pins (Roig-Munar et al., 2009). En canvi les petites cales del Borró del Mig i del Borró d'Enfora formen uns canals eòlics estrets i allargats que escalen les conques torrencials associades (Figura 75).

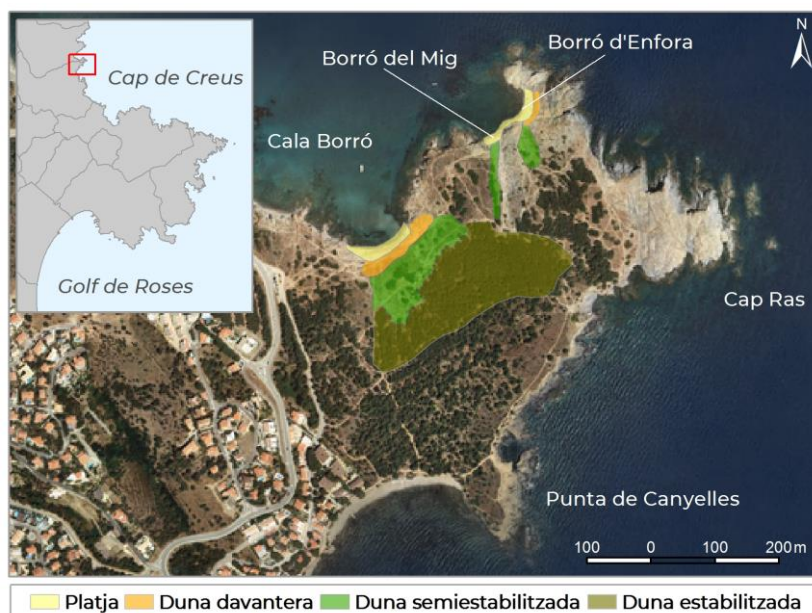


Figura 75. Delimitació i tipus de dunes de la cala Borró (municipis de Colera i Llançà)
Font: Modificat de Roig-Munar et al. (2009)

Prop d'aquesta zona, en el municipi de Port de la Selva, hi ha les úniques dunes grimpadores fòssils del país (Serra, 2000), les anomenades sorres de Covarques (Figura 76). No se sap l'antiguitat exacta d'aquestes formacions eòliques, però segons Yélamos (2009) s'haurien estat formant durant 14.000 anys, entre dos possibles períodes, durant la glaciació de Riss, fa entre 140.000 i 190.000 anys, i la de Wurm, fa entre 30.000 i 70.000 anys. Els sediments d'aquestes dunes provenen dels materials de les rieres del cap de Creus que desembocaren durant anys al mar i es dipositaren en les depressions submergides. Durant les glaciacions el nivell del mar era molt baix i afavoria l'arrossegament d'aquests materials sedimentaris de mar cap a terra, seguint la direcció de la tramuntana. En un segon episodi, les sorres es van remodelar empeses per la força del vent i per l'escorrentia superficial, formant laminacions encreuades. La cimentació de les sorres es deu a les condicions ambientals de sequedat en el moment de la seva formació i a la posterior estabilització de les morfologies a causa del desenvolupament dels sols (Yélamos, 2009).



Figura 76. Dunes de Covarques al municipi de Port de la Selva (fotografia cedida per Marta Puigxuriquer)

També la platja del Torn (Figura 77) i la de cala Bea (al municipi de Vandellós i l'Hospitalet de l'Infant) estan vorejades per dunes grimpadores que s'enfilen pel vessant rocallós fins assolir un màxim d'uns 8 metres. Al mateix municipi, la cala Justell ascendeix les roques de l'extrem interior de la platja fins topa amb les vies de tren situades a més de 15 metres d'alçada respecte la platja. Tant les dunes grimpadores de la cala Borró, com les de Vandellós i l'Hospitalet de l'Infant presenten les comunitats vegetals pròpies de cordons dunars (*Agropyretum mediterraneum* i *Ammophiletum arundinaceae*), així com també comunitats de rereduna (*Crucianelletum maritimae*).



Figura 77. Dunes grimpadores a la platja del Torn (Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant)
Data: maig de 2018

Els cordons dunars i els cordons dunars amb rereduna en costes urbanitzades (Figura 51, tipus 3 i 4) equivalen a la tipologia A4, B2 i B6 de (Nordstrom et al., 2000). Per la posició natural que els pertoca, les dunes semi-fixades són els espais més pertorbats pel desenvolupament dunar sent, en molts casos, ja inexistents. Les morfologies *barkhanoides* mòbils, que s'emplacen a la platja seca, també es veuen greument afectades per la freqüentació humana i l'adequació de les platges per a l'ús turístic. Aquest és el cas de les platges de Sant Pere Pescador, un dels pocs sectors que presenten *barkhanes* lliures a la costa catalana i són constantment eliminades per la maquinària de neteja i aplanament. Marquès i Julià (1988) classifiquen la costa nord-empordanesa en tres sectors segons la posició de la costa vers el règim eòlic de la zona i la formació dunar. La zona nord de l'arc litoral de Roses (Figura 84) està obert cap al sud i rep vents de terra cap a mar, contribuint així a l'aportació sedimentària de la corrent de deriva. En canvi, la zona central de la badia està orientada en paral·lel als vents dominants, motiu pel qual es formen *barkhanes* transversals que migren cap al sud (Figura 78). Sovint l'aigua de mar empesa pels temporals de llevant travessa les depressions i inunda la zona alta de la platja (*backshore*) dificultant així el desenvolupament dunar. En episodis posteriors, els forts vents de tramuntana s'enduen tota l'arena situada per sobre del nivell freàtic i es forma una crosta salina molt característica de la zona (Marquès & Julià, 1988; Marquès, Julià, & Montaner, 2011). El tram sud del golf de Roses està orientat cap al nord i rep el sediment transportat per la corrent longitudinal provinent del nord de la badia.

En el seu desenvolupament natural, les *barkhanes* de l'Alt Empordà passen per cicles que Marquès i Julià (1988) estableixen en tres fases que comprenen des de la seva destrucció a la seva reactivació:

- En un primer estadi les llevantades (temporals de mar originats per vents provinents de l'est) empenyen l'aigua de mar a través dels canals transversals que formen les *barkhanes* (Figura 78) fins a inundar la platja alta i aplanar-ne les dunes mòbils.
- En finalitzar el període de llevantades, la platja empen novament la fase de reactivació de sediments i formació dunar. És en aquest segon estadi on tenen lloc la formació de *barkhanes* incipients paral·leles a la costa per acció de la forta tramuntana.
- Finalment, en una tercera fase, s'assoleix el màxim desenvolupament de les *barkhanes* que es s'orienten de nord a sud, seguint la direcció dels vents dominants.

En el moment de la descripció feta per Marquès i Julià (1988) les *barkhanes* assolien al voltant dels 4 metres d'alçada. En l'actualitat, però, aquest cicle de formació i destrucció de les *barkhanes* es veu fortament alterat per l'acció antròpica, fins el punt que mai

s'assoleixen les dimensions de 4 metres d'alçada descrites amb anterioritat (Figura 78B). La disminució de sediment aportat pel riu, per una banda, i l'aplanament mecànic de la platja seca, per l'altra, impedeixen el ple desenvolupament de les dunes mòbils. En el passat, el camp dunar del golf de Roses ocupava més de 5 quilòmetres de llarg i fins a 150 metres d'amplada a l'extrem sud del golf, on el transport longitudinal afavoreix l'acumulació de sorres. El cicle de destrucció i formació de dunes mòbils pot tenir lloc més d'un cop a l'any, seguint les condicions climàtiques de llevantades i tramuntanades.

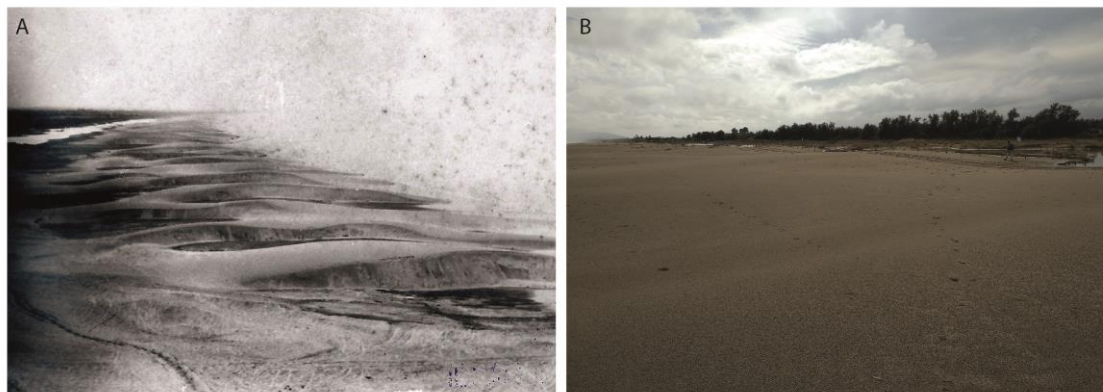


Figura 78. Platja de Sant Pere Pescador (Girona) a principis de segle XX (A) i a l'octubre del 2018 (B). A la fotografia antiga s'observen *barkhanes*, depressions perpendiculars a la línia de mar i inundacions al *backshore*

Font: Fons Josep Esquirol, Arxiu Municipal de l'Escala (A)

Contrasta, en aquest sentit, el desenvolupament natural que encara tenen els camps dunars de *barkhanes* lliures al delta de l'Ebre. El conjunt del delta de l'Ebre alberga les morfologies dunars més extenses i desenvolupades del litoral català (Pintó, 2012; Pintó & Garcia-Lozano, 2016), que estan àmpliament estudiades i detallades per diversos autors (Barrio-Parra & Rodríguez-Santalla, 2016; Barrio-Parra et al., 2017; Maldonado, 1972; Rodríguez-Santalla et al., 2017, 2015, 2009; Serra et al., 2012). Les platges del delta tenen un rang mareal entre 20 i 25 centímetres (Jiménez, 1996), estan formades per sorres molt fines (ICC, 2010) sotmeses a vents dominants de component nord/nord-oest. Sota aquestes condicions s'han desenvolupat els únics camps dunars costaners que es troben a Catalunya situats concretament a la punta del Fangar, la punta de la Banya i la platja del Garxal (Figura 79).

La platja del Fangar està exposada als forts vents de mestral (en direcció de nord-oest a sud-est) i constitueix el camp dunar actiu de *barkhanes* més important del delta (Sánchez-García et al., 2019). També trobem morfologies *barkhanoides* a les platges del Garxal, tot i que en menor extensió i de forma molt més intermitent al tractar-se d'un espai molt dinàmic situat a la punta de la desembocadura. A la part interior del Fangar, més a recer dels forts vents i dels temporals de mar, es desenvolupen zones aïllades entre elles amb *foredunes* mòbils i *foredunes* semi-vegetades. En les darreres dècades han disminuït les morfologies dunars lliures situades a l'exterior de la punta del Fangar, per efecte de l'erosió marina i per la disminució de sediment fluvial (Rodríguez-Santalla, 2000; Rodríguez-Santalla et al., 2009). Les dunes de la punta del Fangar il·lustrades a la Figura 79, coincideixen amb les delimitacions que alguns autors detallen per aquesta mateixa àrea (Barrio-Parra & Rodríguez-Santalla, 2016; Barrio-Parra et al., 2017; Rodríguez-Santalla & Somoza, 2019).

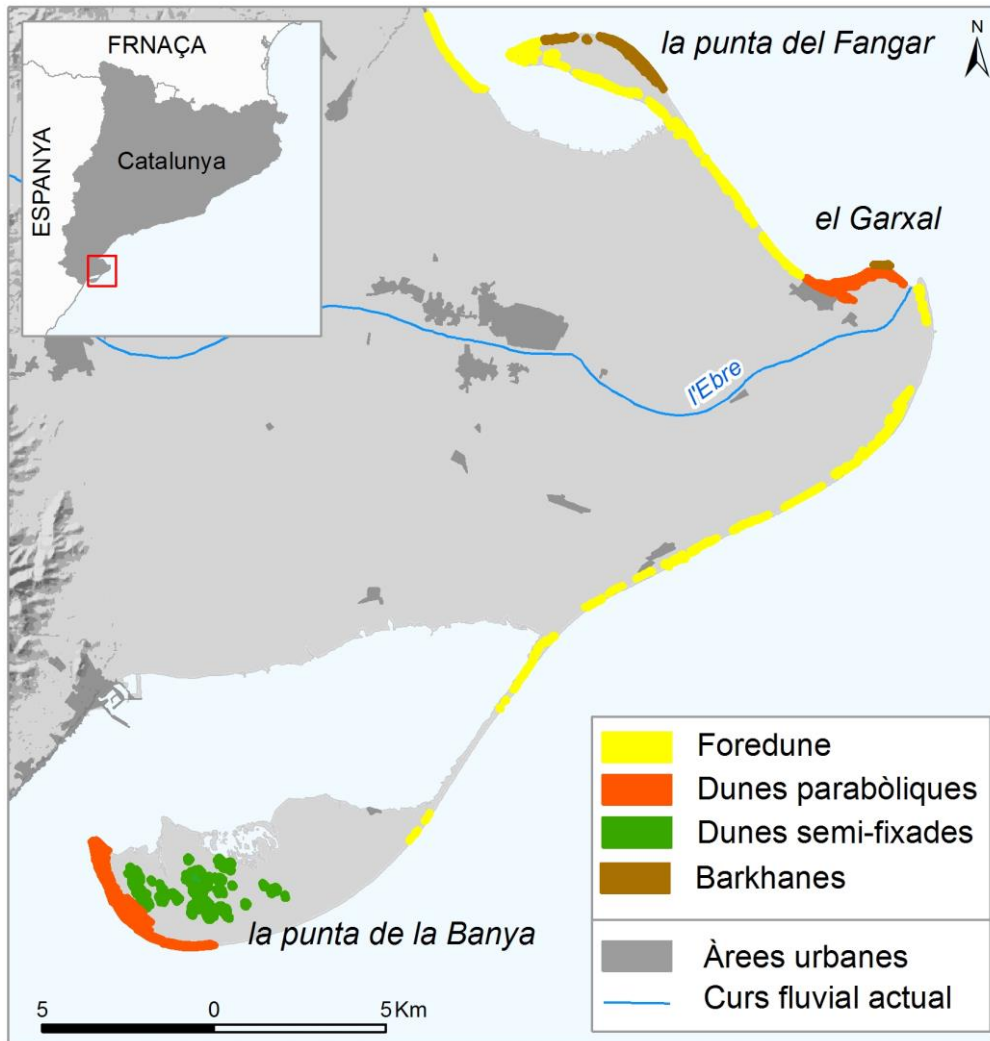


Figura 79. Morfologies dunars al delta de l'Ebre

Per altra banda, la punta de la Banya i el Garxal compten amb camps dunars de dunes parabòliques i diverses línies de cordons dunars semi-vegetats. Rodríguez-Santalla i Somoza (2019) estudien aquests camps dunars i determinen que les dunes més altes del delta mesuren prop de 6 metres d'alçada i es troben al Garxal, mentre que la zona de la Banya compta amb dunes de fins a 4 metres d'alçada. Aquestes dades contrasten amb les xifres presentades en aquesta tesi on s'han localitzat crestes dunars de fins a 10 metres d'alt, al Garxal, i fins a 5 metres a la Banya. També l'extensió dels camps dunars localitzats en aquesta recerca a la punta de la Banya (Figura 80) divergeix de recerques prèvies que cartografiaven curosament els límits dels camps dunars. Rodríguez-Santalla et al. (2015) i Serra-Raventós et al. (2012) detallen les morfologies dunars de la Banya i delimiten una extensió de camps dunars vegetats (Figura 80A i C) notablement més ampla del presentat en la present investigació (Figura 80B).

Bona part del que Rodríguez-Santalla et al. (2015) i Serra-Raventós et al. (2012) consideren morfologies dunars (Figura 80A i C), són avui planes d'inundació intermitent i salicornars (Figura 80B i Figura 81). Es tracta de serrals inundats bona part de l'any i colonitzats per salicornars, que, de manera ocasional, poden mostrar algun monticle lleugerament elevat respecte la plana d'inundació (Figura 81). Algunes d'aquestes elevacions poden formar *nebkas* aïllades, motiu pel qual alguns autors consideren aquests ambients com a morfologies dunars vegetades (Rodríguez-Santalla et al., 2015; Serra et al., 2012).

Contràriament, altres estudis sobre les dunes de la punta de la Banya constaten un espai dunar inferior al presentat en aquesta tesi (Maldonado, 1972; Sánchez-García et al., 2011).

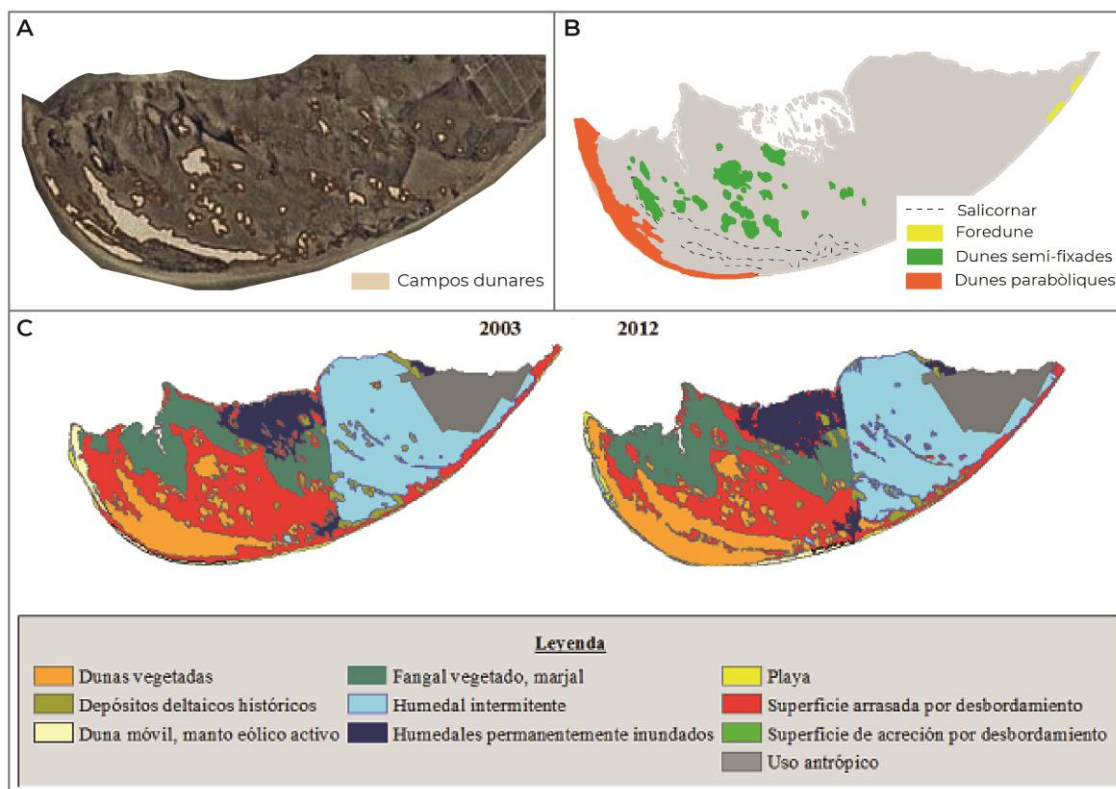


Figura 80. Morfologies dunars a la punta de la Banya. A – Camps dunars segons Serra-Raventos et al. (2012); B – Dunes segons els resultats obtinguts en aquest treball; i C – Dunes segons Rodríguez-Santalla et al. (2015)

Malgrat les discrepàncies alhora de cartografiar les dunes del delta, tots els estudis coincideixen que extenses àrees de sistemes dunars han desaparegut al llarg de les darreres dècades. Les causes de l'erosió tenen el seu origen, especialment, en la manca de sediments aportats pel riu Ebre (Sánchez-Arcilla, Jiménez, & Valdemoro, 1998). La resta de dunes del delta de l'Ebre (Figura 79) són *foredunes* de petita entitat confinades entre el mar i les zones humides, la urbanització o els camps de cultiu, abocades a la desaparició si la dinàmica del delta segueix la seva tendència regressiva. Es tracta de dunes incipients i petits cordons dunars d'uns pocs metres d'amplada que, en el millor dels casos, s'eleven fins a 50 o 70 centímetres i s'estenen uns 10 metres terra endins (Figura 82).



Figura 81. Planes d'inundació intermitents a la punta de la Banya, al delta de l'Ebre. La salicòrnia (*Arthrocnemum fruticosum* i *Arthrocnemum macrostachion*) colonitza els marges de les planes d'inundació, tot deixant alguns monticles lleugerament elevats

Data: abril de 2019



Figura 82. *Foredune* a la platja de la Bassa de l'Arena, al delta de l'Ebre

Data: primavera de 2014 (fotografia cedida per Josep Pintó)

Pel que fa la composició florística de les dunes del delta, la presència del borró (*Ammophila arenaria*) a les dunes parabòliques i a les *foredunes* més desenvolupades hi és clarament escassa. El borró apareix parcial i discretament a les formacions dunars del delta: a la platja del Fangar hi és abundant; al sector del Garxal hi és escassa; i a la punta de la Banya no s'hi ha identificat (Curcó, 1990, 2007). En canvi, el jull de platja (*Elymus farctus*) és ben abundant a tots els sistemes dunars. Aquesta casuística replanteja que *Ammophila arenaria* sigui una de les espècies proposades com espècie clau en el diagnòstic d'hàbitat dunar segons el Manual d'Interpretació dels Hàbitats de la UE (European Commission, 2013).

Una vegada s'ha fet referència a la distribució i tipologia dels sistemes dunars a la costa catalana, es detallen algunes qüestions sobre l'evolució històrica de les principals formacions dunars de Catalunya.

6.1.1. L'Empordà

A la zona de l'Empordà es troben els camps dunars més extensos de Catalunya. Es tracta de les grans dunes grimpadores dels massissos del Montgrí i Begur, que, temps enrere, formaven una barreja de camps dunars mòbils de dunes parabòliques i transgressives. Aquestes muntanyes d'arena són les dunes més dimensionades i ben preservades del litoral català que van ser estabilitzades amb pins a finals del segle XIX per evitar que l'avenç de les sorres colgués pobles i cultius (Artigas, 1885a; de Ferrer, 1895). També les dunes estabilitzades de la platja de Sant Martí d'Empúries (al municipi de Castelló d'Empúries) van ser fixades en el mateix període per evitar-ne el seu avenç (Figura 85). La formació d'aquestes grans dunes es deu als forts vents de tramuntana, que bufaven paral·lels a la costa i transportaven les sorres aportades durant segles pel riu Ter, formant així les dunes de més de 100 metres d'alçada.

Els primers documents que parlen de les molèsties causades per les sorres daten del segle XVII, però no és fins principis del segle XVIII que es planteja la necessitat de d'actuar-hi. La fixació de les dunes del Montgrí es va produir entre 1896 i 1910 (de Ferrer, 1895), en el que seria la primera gran obra d'enginyeria forestal de l'estat espanyol realitzada pel Districte Forestal de Barcelona, Girona i Balears (Figura 83), administració forestal creada expressament per a l'ocasió, i més tard per la Divisió Hidrològico-forestal (Pipió i Gelabert, 2013). Fins i tot l'any 1892 es va crear la Comissió de les Dunes de Girona, a càrrec de la qual anaven els treballs duts a terme a les muntanyes del Montgrí (Pipió i Gelabert, 1999b, 2013). En canvi, les dunes de Begur es van fixar a principis de del segle XX per iniciativa d'alguns particulars (Carandell, 1937).

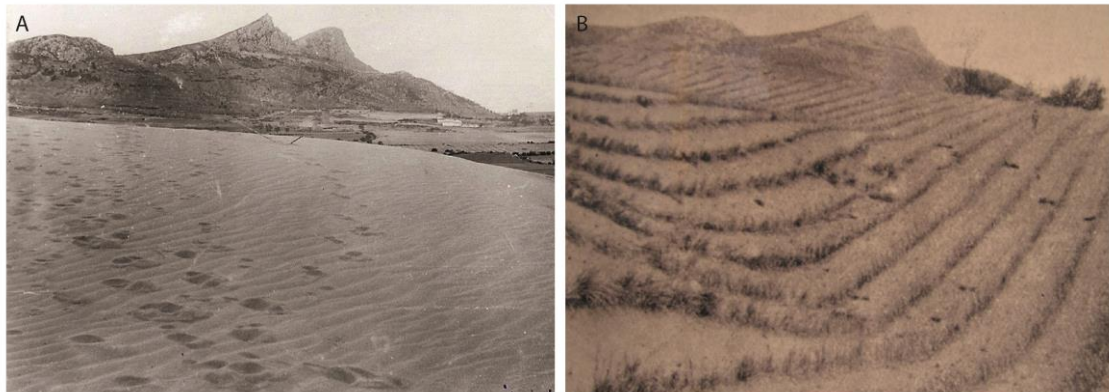


Figura 83. Camps dunars al vesant sud del Montgrí abans (A) i després dels treballs de fixació (B)

Font: Museu de la Mediterrània (autor i data desconeguts)

Pel que respecta a les morfologies dunars de les planes empordaneses, Cros Serra (1993) diferencien tres tipologies de dunes segons el seu origen i la seva localització geogràfica: les dunes al·luvials, les dunes litorals de l'interior i les dunes litorals de la costa (Figura 84).

- Les **dunes al·luvials** estan compostes per materials provinents dels meandres del riu Ter situats a força quilòmetres terra endins respecte la línia de mar. Es formen quan els forts vents de tramuntana transporten els materials sorrencs dels meandres i es ressituen prop d'aquests en forma de sistema dunar. Les sorres que componen les dunes al·luvials dels municipis de Gualta, Verges i Foixà (Figura 84) provenen del riu Ter (Cros, 1987; Cros & Serra, 1990, 1993; Sainz-Amor & Julià, 1999). En canvi, el dipòsit al·luvial del poble de Regencós està format per les sorres provinents del gran camp dunar que creua de nord a

sud el massís del Montgrí i que són arrossegades per la riera de Salt ses Eugues i posteriorment activades per la tramuntana (Cros & Serra, 1993).

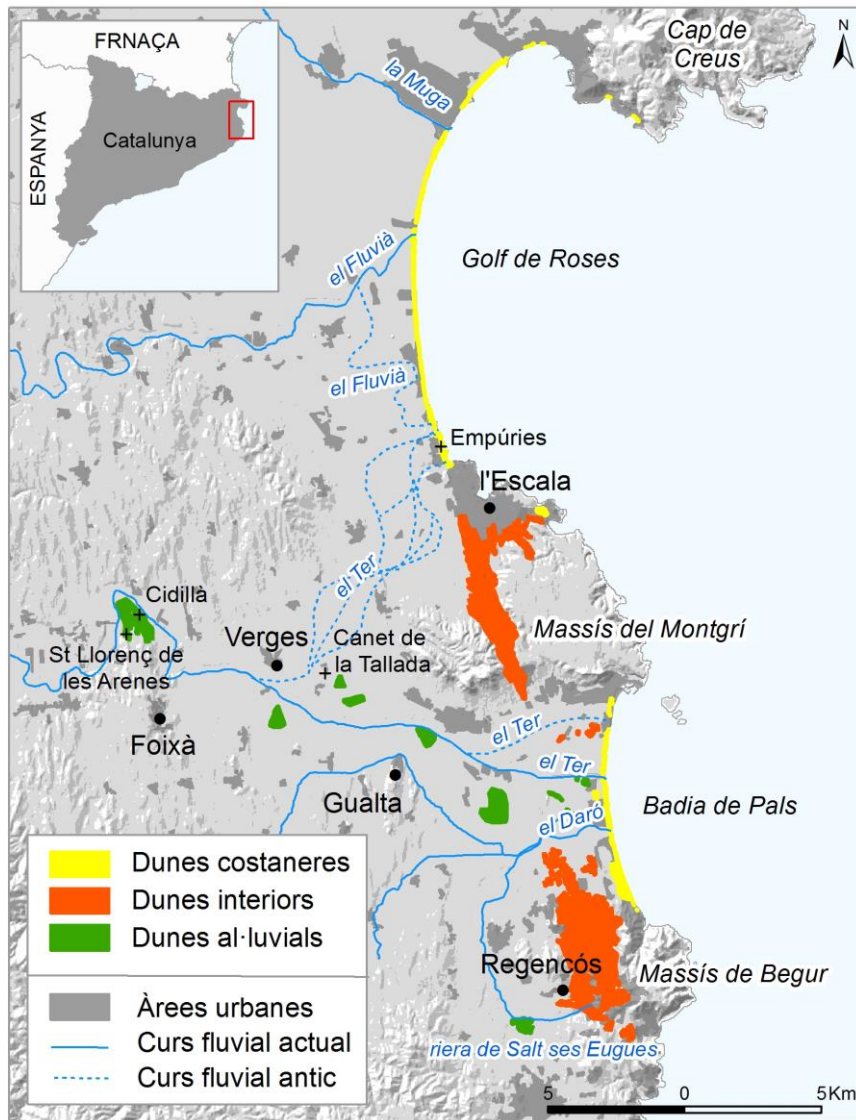


Figura 84. Sistemes dunars a l'Empordà

Font: Modificat de Cros (1987); Cros i Serra (1990, 1993); Marquès et al. (2011); Sainz-Amor i Julià (1999)

- Les **dunes litorals de l'interior** corresponen als grans camps dunars que s'endinsen cap als massissos del Montgrí i Begur, respectivament, en direcció nord - sud, seguint l'orientació de la tramuntana (Figura 84). Sainz-Amor (1988, 1990) i Sainz-Amor i Julià (1999) estudien la composició mineralògica per establir l'origen de les sorres acumulades als massissos del Montgrí i Begur i verifiquen que, tant les dunes del Montgrí com les de Begur, contenen sediments provinents del riu Ter remoguts després del desviament de la desembocadura del darrer tram del riu cap al sud del Montgrí (Figura 40 i Figura 85). Pel cas de Begur, Cros i Serra (1993) analitzen la composició mineralògica de les dunes i alerten que provenen de les sorres dipositades al fons d'una llacuna que antigament ocupava la part central del litoral del Baix Ter i era alimentada per avingudes del mateix riu (Cros & Serra, 1990; Mas, Palli, & Bach, 1989). Aquesta llacuna es va assecar amb la canalització definitiva del tram baix del riu Ter, moment en què es produí la deflació dels materials

sorrencs de la llacuna fins a transportar-los fins al cap damunt del massís (Cros, 1987; Cros & Serra, 1990, 1993).

Cros (1987) i Cros i Serra (1990, 1993) estudien la geomorfologia dunar del sistema de Begur i conclouen que aquestes formacions estan compostes per grans dunes parabòliques complexes, per *blowouts*, per *climbing dunes* i per *falling dunes*. A més, també identifiquen les “dunes passadís” que correspondrien a aquelles que transcorren de nord a sud el massís de Begur, entre la part escalant i la descendent. Els sectors més orientals d'aquests sistemes estan alimentats per sorres de la platja provinents d'episodis de llevant (Cros & Serra, 1993; Sainz-Amor & Julià, 1999). El tram sud del golf de Roses està orientat cap al nord i rep el sediment transportat per la corrent longitudinal provinent del nord de la badia (Figura 85). El forts vents de la tramuntana i la gran disponibilitat de sediment originen la migració dunar terra endins, des d'Empúries cap al massís del Montgrí (Figura 84). D'aquesta manera es formen dunes grimpadores seguint el sentit nord - sud a l'extrem oriental del massís del Montgrí on s'ajunten amb les dunes provinents dels meandres abandonats de l'antic tram del riu Ter i que travessen completament el massís.



Figura 85. Treballs de fixació dunar a Empúries, l'Escala, al voltant del 1896. De fons s'observen les morfologies *barkhanoides* perpendiculars a la costa originades per la tramuntana

Font: Fons Josep Esquirol, Arxiu Municipal de l'Escala

- Finalment, les **dunes litorals costaneres** són aquelles que es situen a primera línia de la costa i que estan seguides per ambients de rereduna a soplug del cordó dunar. Aquestes morfologies dunars són part fonamental del sistema platja-duna i darrere d'aquest es troben les zones humides de maresmes i llacunes.

Avui dia, les litorals situades als extrem orientals dels camps dunars de Begur i el Montgrí esta completament urbanitzades pel nucli urbà de l'Escala i les urbanitzacions que miren al mar al nord del massís de Begur (Figura 84). Així mateix, moltes de les zones humides al voltant dels sistemes platja-duna han estat substituïts per zones residencials i complexos turístics, com a la zona d'Empuriabrava, de l'Estartit, de Sant Pere Pescador i de Pals (Figura 84). En canvi, les grans dunes interiors estan fixades amb arbredes de pins (Figura 27). Altres sectors de Catalunya també presenten dunes fixades amb pins que, eventualment, han estat utilitzats per implementar-hi segones residències, camps de golfs o càmpings. Es tracta de Pals, Platja d'Aro (Castell-Platja d'Aro), Blanes, el delta del Llobregat, Salou o Cambrils. Aquestes pinedes es van fixar a la primera meitat del segle passat de forma artificial per evitar la mobilitat de les sorres. En algunes ocasions l'origen artificial i recent

de les arbredes de pins ha estat obertament discutit per alguns autors. Es tracta del cas de les dunes del delta del Llobregat que tenen un origen molt anterior (Valverde, 1998).

La duna continental del Massís del Montgrí

Les dunes situades a l'interior del massís del Montgrí parteixen del poblat greco-romà de St. Martí d'Empúries des d'on s'estenen uns 10 km cap al sud, fins a arribar a l'alçada de Torroella de Montgrí (Figura 86). Al llarg del seu recorregut, la duna ocupava una amplada mitjana de 500 m i assolía la seva amplitud màxima d'1 km al vessant nord del massís, poc abans d'arribar al Coll de les Sorres.

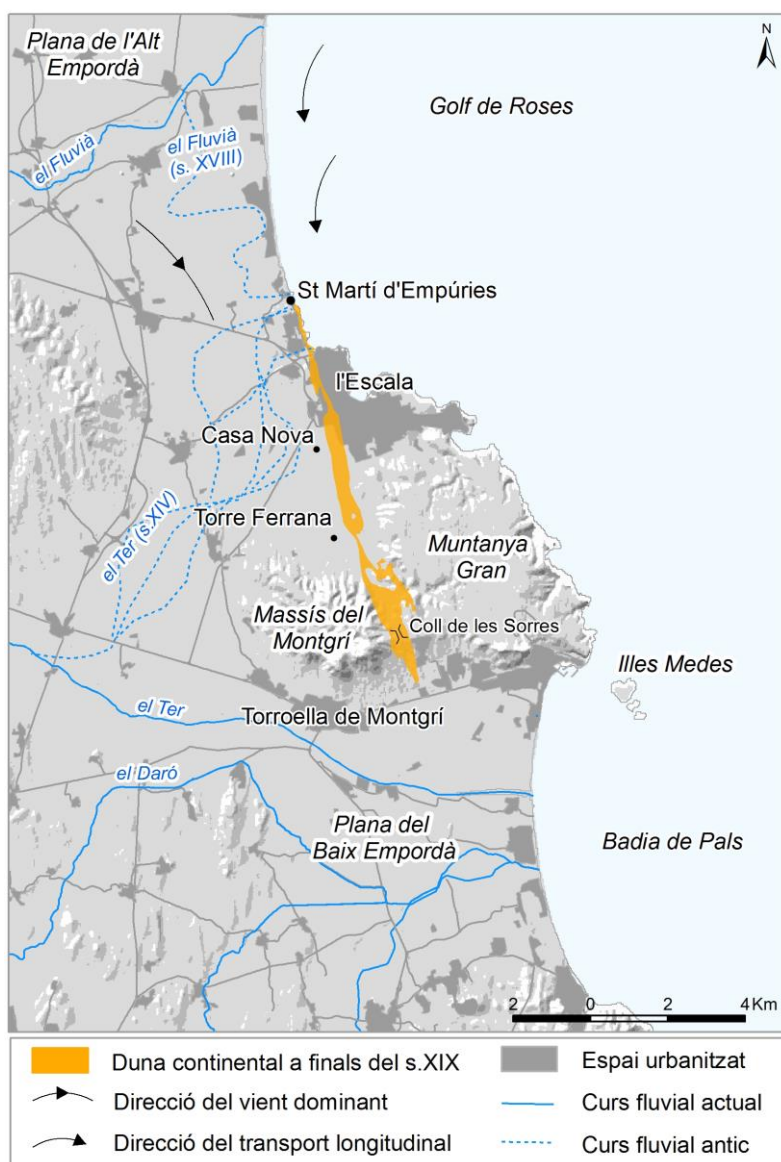


Figura 86. Camp de dunes mòbils entre St. Martí d'Empúries i el massís del Montgrí a finals del segle XIX

Font: de Ferrer (1895)

Les sorres transportades pel fort vent de tramuntana van aconseguir superar l'obstacle muntanyós del Montgrí i arribar a altures de més de 100 metres respecte el nivell del mar. A partir del Coll de les Sorres cap al sud es troba la zona més profunda del seu recorregut on el flux sedimentari es dipositava formant lòbuls descendents amb una potència màxima

de 30 m (de Ferrer, 1895). L'avanç de la duna sepultava camps de conreu, camins, fonts i cases, motiu que va portar al govern a fixar-les amb vegetació en el que seria la primera gran obra d'enginyeria forestal de l'estat espanyol.

La formació dunar del Montgrí es va originar gràcies a tres elements clau per al transport i la sedimentació de sorra: forts vents capaços de transportar ingents quantitats de sorra, gran disponibilitat de sediments i una barrera orogènica amb disposició perpendicular als vents dominants capaç d'interceptar les sorres i donar lloc a la formació dunar (Marqués, Julià, Muntaner, & Montaner, 2011; Pipió i Gelabert, 1998, 1999a). La formació de la duna continental del Montgrí va tenir lloc a partir del segle XIV i durant els segles posteriors, coincidint amb el desviament del riu Ter (1303) i del Fluvià (1740), amb el descens del nivell de la mar de la Petita Edat de Gel (s. XIV-XIX) i amb etapes d'intensa desforestació a les conques fluvials de les planes de l'Alt i el Baix Empordà (Marqués & Julià, 1983, 2005).

Abans d'aquesta data, el traçat dels rius Ter i Fluvià actuava de barrera o canal de drenatge dels possibles sediments transportats per la tramuntana, procedents del golf de Roses (Figura 86). Quan el riu Fluvià i el Ter desembocaven al sud del golf de Roses, els materials sorrencs transportats per la tramuntana eren recollits pel riu i transportats fins al mar (Cros, 1987; Marqués, Julià, & Montaner, 2011; Montaner, 2010). El canvi de posició del Ter cap al sud del massís del Montgrí va ser un element decisiu en la formació dunar de les planes empordaneses. Segons Marqués et al. (2011) la desaparició d'aquesta barrera sedimentològica activaria el desenvolupament dunar que cobriria les ciutats grega i romana d'Empúries.

La nova trajectòria del tram baix dels cursos fluvials va ser en bona part motivada per un augment del cabal i del subministrament de sediments, així com també algunes operacions de canalització antròpiques. L'abundant sedimentació d'èpoques passades en el tram baix dels rius Ter i Fluvià i el descens del nivell del mar de la Petita Edat de Gel, van afavorir novament que la tramuntana activés les arenes i formés camps dunars de notables dimensions a la zona (Marqués, Julià, & Montaner, 2011). Els meandres abandonats del riu Ter van proveir de sediment les formacions dunars que es desenvolupaven gràcies a la topografia abrupta de les zones muntanyoses, com al Montgrí, Begur i Foixà. L'activació de les sorres van colgar l'antic nucli de població de Sidillà i bona part dels edificis de Sant Llorenç de les Arenes, nuclis situats al municipi de Foixà (Cros, 1987; Marqués, Julià, & Montaner, 2011; Montaner, 2010).

Cal fer incís en que els vents dominants a la zona són paral·lels a la costa, de component NNW, i arriben de forma habitual velocitats de 100 km/h que en ocasions puntuals superen els 200 km/h. El transport o corrent longitudinal és de NNE a SSW. Els temporals de llevant són també ocasionals i ocorren amb certa virulència contribuint a la tornada puntual de sorra a les platges. Amb aquestes condicions de dinàmica litoral no és d'estranyar que l'activació del transport eòlic cap a terra no fos efectiu amb el traçat transversal i la ubicació septentrional dins de l'arc litoral dels rius Ter i Fluvià (Figura 86).

Els primers documents que parlen de les molèsties causades per les sorres daten del segle XVII, però no és fins a finals del segle XIX que es planteja la necessitat d'actuar. Les primeres notícies oficials que manifesten el problema de l'avanç de les sorres i proposen l'estabilització mitjançant pins va ser la memòria de sortida de camp que van realitzar els alumnes de tercer any de la *Escuela Especial de Ingenieros de Montes* (Pipió i Gelabert, 2008, 2013). Aquest document va ser redactat en 1885 per Primitiu Artigas, professor responsable de l'excursió, i va ser lliurat a la Junta Consultiva de Montes, òrgan que va rebutjar la proposta. Deu anys més tard, el 1892, el Districte Forestal de Barcelona, Girona i Balears va recuperar la idea d'Artigas i va encarregar un avantprojecte d'estudi de les dunes procedents del golf de Roses a l'enginyer Javier de Ferrer. La fixació de les dunes del Montgrí es va produir entre 1896 i 1910, en el que seria la primera gran obra d'enginyeria forestal de l'estat espanyol. Per a aquesta finalitat es va crear la Comissió de les Dunes de la Província de Girona dirigida per l'enginyer de forests Andrés Llauradó. Durant aquest

període, la responsabilitat dels treballs de fixació s'alternaria entre diferents personalitats i administracions. Així, durant els quinze anys que va durar l'actuació, Javier de Ferrer, Rafael Puig i José Reig van coordinar l'estabilització dunar que va estar dins el Districte Forestal de Barcelona, Girona i Balears, primer, i més tard va pertànyer a la Divisió Hidrològic-forestal de la Conca Inferior de l'Ebre i dels Pirineus Orientals (Pipió i Gelabert, 1998, 1999a).

Javier de Ferrer es va encarregar de dissenyar i dirigir l'inici de l'estabilització, l'estratègia es va publicar en 1895 sota el títol de "Proyecto de Fijación y Repoblación de las Dunas Procedentes del Golfo de Rosas", on s'establien els detalls de l'actuació. Els més de 11 km de longitud i 342 ha de superfície que ocupaven les dunes van ser classificats per l'enginyer en quatre sectors segons les seves característiques morfològiques i les tasques que s'havien de dur a terme:

- El primer sector comprenia des de St. Martí d'Empúries a l'Escala i estava compost per cordons dunars uniformes paral·lels al mar. Aquests s'estenien 50 i 200 metres terra endins fins arribar a les terres de conreu, amplada que hauria estat molt més gran sense els treballs de contenció dels mateixos pagesos mitjançant canyes i tamariu. Aquesta zona va ser el primer tram d'actuació i es va dur a terme mitjançant la construcció artificial d'unes contradunes enginyades per impedir l'avanç de les sorres gràcies a la seva disposició paral·lela a la costa i la seva forma corbada en direcció al mar. Un cop establerta la duna artificial es va procedir a la seva estabilització mitjançant la creació d'alineacions de començar de cap perpendiculars als vents dominants. Repreneu la fotografia de la Figura 85 on s'il·lustren les obres de fixació per aquest sector.

- El segon sector s'estenia des del nucli de l'Escala fins a Torre Ferrana (Figura 86) i es caracteritzava per ser un mantell de sorres d'uns pocs metres de potència cobert parcialment per vegetació espontània i vinyes, que s'alternaven amb files de borró (*Ammophila arenaria*) destinades a fixar les dunes (Figura 87). Els agricultors van aprofitar des de temps llunyans la invasió de les sorres per conrear, ja que si les sorres es transportaven en el sentit de la tramuntana quedaria al descobert la roca mare i els terrenys serien erms. A prop de la Casa Nova (Figura 86) s'alça una única morfologia parabòlica que ocupava una extensió de més de 3ha i tenia uns 10m d'alçada.



Figura 87. Dunes parcialment estabilitzades per vegetació arbustiva i vinyes prop de la Torre Ferrana

Font: Museu de la Mediterrània (autor i data desconeguts)

- El tercer sector ocupava des de Torre Ferrana fins al Coll de les Sorres (Figura 86), un espai de propietat pública on les sorres es desplaçaven lliurement sense la fixació vegetal pròpia de les vinyes (Figura 88). En el seu ascens pel vessant nord del massís del Montgrí, les dunes arribaven a superar obstacles rocosos situats a més de 100m respecte el nivell del mar. Les sorres rampants formaven paràboles que ocupaven des de poc més de mitja hectàrea fins a prop de 4ha de superfície. Les més petites s'alçaven uns 7m d'altura mentre que les més altes arribaven a superar els 20m.



Figura 88. Dunes parabòliques lliures en el tercer sector abans de ser fixades amb pins. En primer terme s'observa l'inici de la fixació que es produï amb *Ammophila arenaria*.

Font: Museu de la Mediterrània (autor i data desconeguts)

- El quart i últim sector començava al Coll de les Sorres des d'on baixava muntanya avall fins a arribar a l'alçada del nucli de Torroella de Montgrí (Figura 86). En aquest tram, la totalitat de la duna formava una colosal mitja lluna amb una línia d'avanç de gairebé 1km i més de 500m d'amplada màxima al coll. Aquesta duna estava composta per algunes dunes parabòliques que avançaven en la mateixa direcció. En aquest tram és on les muntanyes de sorra tenen la seva màxima potència que oscil·la entre els 10m en les zones més someres i els 30m en les més profundes. La Figura 89 mostra la llengua d'avançament des del coll de les Sorres cap al sud.



Figura 89. Vista des del coll de les Sorres cap al sud, a la plana del Baix Empordà. En primer terme s'observen individus d'*Ammophila arenaria* que creixen als laterals de la duna parabòlica, just a les zones menys exposades de l'erosió del vent.

Font: Museu de la Mediterrània (autor i data desconeguts)

Cada un dels trams descrits va ser semiestabilitzat emprant borró que, un cop arrelat, va ser substituït per espècies arbustives per tal d'estabilitzar completament el mantell de sorres mòbils. Amb aquesta finalitat es va utilitzar el pi pinyer (*Pinus pinea*) que s'adapta bé als sòls sorrencs, encara que també es va plantar pi blanc (*Pinus halepensis*) i pi marítim (*Pinus pinaster*). Els treballs de fixació del Montgrí van ser visitats durant temps posteriors per diferents personalitats d'Alemanya i França i presos com a referència per a treballs similars dins i fora del país. De fet, el 1900 ja es va utilitzar aquest mateix sistema per fixar les dunes de Guardamar de Segura, a Alacant.

La duna continental del Montgrí roman encara coberta per un espès mantell de pins que dificulta distingir la seva extensió i morfologies originals a simple vista. Adreceu-vos a la Figura 27 per constatar que la pineda que cobreix la duna continental dificulta distingir-ne el seus límits. Altres sectors de Catalunya també presenten dunes fixades amb pins que, eventualment, han estat utilitzats per implementar segones residències, camps de golf o càmpings. Es tracta de Pals, Platja d'Aro, Blanes, al delta del Llobregat, Salou o Cambrils. Gràcies a la seva fixació i al règim de propietat pública de què gaudeixen aquestes pinedes, les dunes del Montgrí són el camp dunar més extens i ben preservat del litoral català.

L'eliminació de la cobertura arbòria mitjançant el tractament del núvol de punts LiDAR ha permès corroborar que la duna continental del Montgrí avançava formant grans dunes parabòliques simples i compostes a més de *barkhanas*, *blowouts*, *climbing dunes*, *falling dunes* i *wrap around dunes* (corresponents a aquelles que uneixen les *climbing dunes* amb les *falling dunes*). A més, la gran duna en forma de mitja lluna de la qual es parlava en el projecte de fixació redactat per l'enginyer de Ferrer a 1895 ha estat perfectament delimitada, així com també els talussos laterals i les dunes parabòliques interiors (Figura 90). Aquestes morfologies han estat representades mitjançant un mapa d'ombregat (*hillshade*) elaborat a partir de l'MDT on s'han identificat múltiples dunes parabòliques simples i compostes (Figura 90A). Amb tot, s'ha identificat un total de 37 dunes parabòliques simples i compostes (Figura 90B).

A resultes del model generat amb dades LiDAR, es pot confirmar que les dunes parabòliques situades en el sector 3 (del Coll de les Sorres cap al nord) es van formar a partir de l'evolució erosiva de *blowouts*. En canvi, la gran duna parabòlica que constitueix el sector 4 es va originar després que les dunes descendents o *falling dunes* cobrissin tot el vessant sud del Montgrí. En aquells dies, l'excés de sediment va afavorir el desenvolupament d'una gran llengua dunar cap al sud en forma d'U, dins de la qual es van formar diferents dunes parabòliques i *blowouts*. Si la fixació de finals de segle XIX no s'hagués realitzat, les dunes mòbils del Montgrí haguessin seguit la seva evolució, erosionant progressivament a la part davantera i convertint-se en dos grans dunes longitudinals. L'extensió de la pineda situat entre la Muntanya Gran i el Montgrí (Figura 90B) coincideix perfectament amb la superfície ocupada per la duna continental.

Manca esbrinar si el tractament de dades LiDAR permet visualitzar tan acuradament altres parcel·les de dunes aforestades d'arreu de Catalunya. El macís de Begur amaga altres morfologies dunars extensament estudiades per Cros (1987) que fóra bo d'estudiar amb imatges procedents de dades LiDAR. Resta pendent per a futures recerques que permetran comparar la conservació de dunes fixades en forests públiques (el cas del Montgrí) i terrenys de titularitat privada (el cas de Begur).

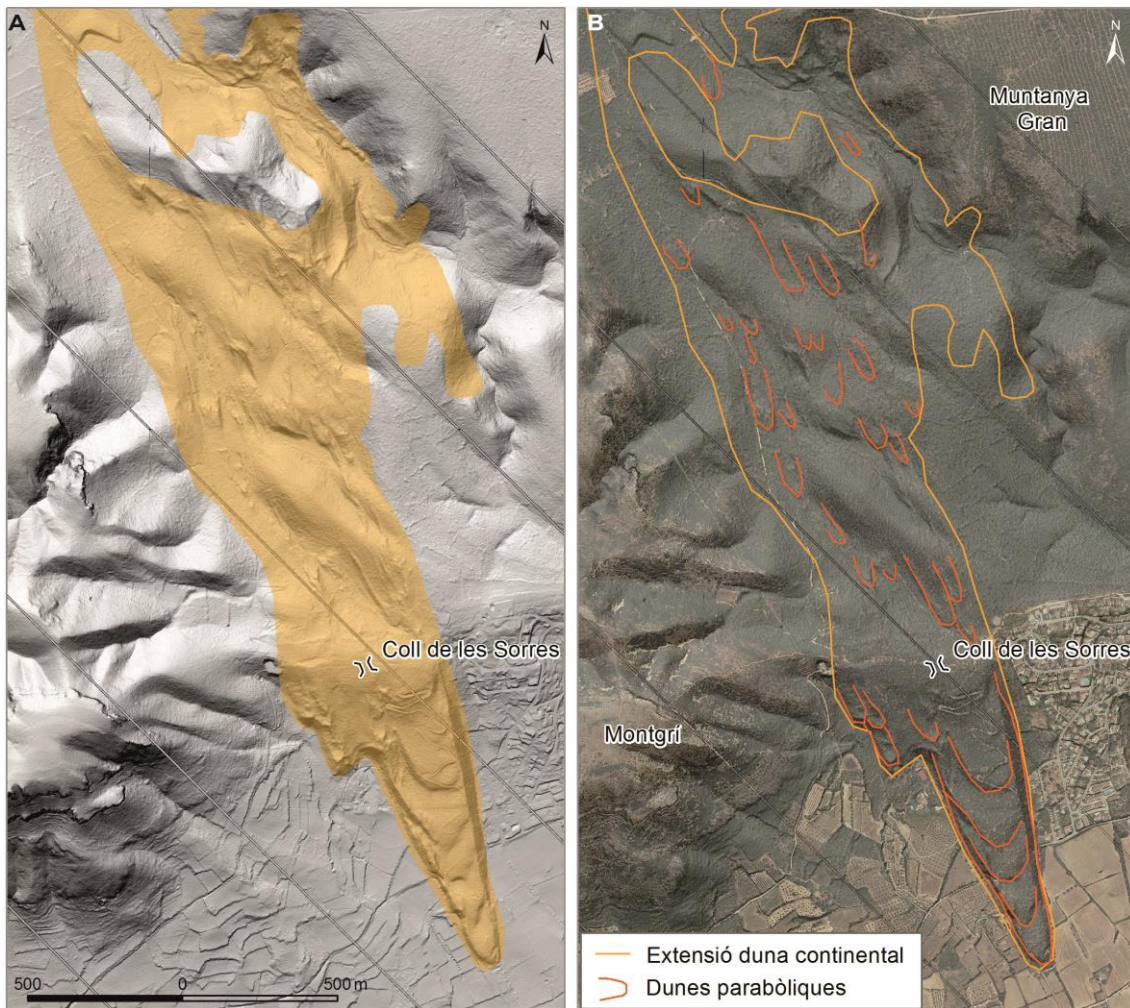


Figura 90. A – mapa d'ombres elaborat a partir de l'MDT en els sectors 3 i 4 de la duna continental del Montgrí. La taca ocre indica l'extensió de les sorres. B – Delimitació de la duna continental i de les dunes parabòliques identificades a partir del tractament de les dades LiDAR superposades en una ortofotomapa actual. La gran duna en forma de mitja lluna de la qual parlava de Ferrer (1895) es situa des del coll de les Sorres cap al sud i està integrada, al seu torn, per altres dunes parabòliques que se li sobreposen.

Font: ICGC (2018)

6.1.2. El delta del Llobregat

Les dunes litorals i els sorrals litorals del delta del Llobregat han estat fixats per pinedes des de ben antic per a l'explotació forestal del bosc (Valverde, 1998) i no per a evitar l'avanç de les dunes terra endins colgant conreus, camins i poblats com s'ha donat en altres zones del litoral català (Pipió i Gelabert, 1999b, 2013).

Tradicionalment s'ha atorgat un origen artificial i recent de les pinedes del delta del Llobregat amb el suposat objectiu d'impedir que el moviment de terres soterrès els cultius del delta. Malgrat que l'origen de les pinedes efectivament podria ser artificial, tot i que no es pot afirmar per manca de documentació, Valverde (1998) fa una recopilació històrica de documents que contradiuen la plantació recent de pinedes i atribueixen l'existència d'aquests pins exclusivament a l'explotació forestal i a la millora de les condicions sanitàries. Els següents paràgrafs d'aquest subapartat relatiu al delta del Llobregat, es remeten a la reconstrucció històrica duta a terme per Andrés Valverde el 1998 en un article publicat a la revista *Spartina* (Valverde, 1998), que permet fer-se una idea de l'evolució de

les pinedes que en bona mesura creixen damunt de cordons dunar i dipòsits al·luvials del delta.

Les primeres referències que corroboren l'existència d'una gran pineda al delta daten del segle XVI en una representació cartogràfica de l'antiga baronia d'Eramprunyà (Figura 91). Entre els segles XVI i XIX s'han recopilat nombrosos contractes d'arrendaments i documents judicials de disputes entre colons i propietaris per a l'explotació forestal de les pinedes que s'estenien a bona part del delta i arribaven fins ben a prop del mar. Així mateix, crides, reglaments, plans i censos també constaten la plantació i explotació forestal d'un arbrat de pins a la zona del delta. Entre aquests documents destaquen el *Plan de la Gran Pineda* de 1746, la *Crida de la Baronia d'Eramprunyà* de 1755, el qüestionari de Francisco de Zamora de 1789 i el *Diccionario Geográfico-Estadístico-Histórico de España y sus posesiones de Ultramar* de Pasqual Madoz elaborat entre els anys 1846 i 1850.

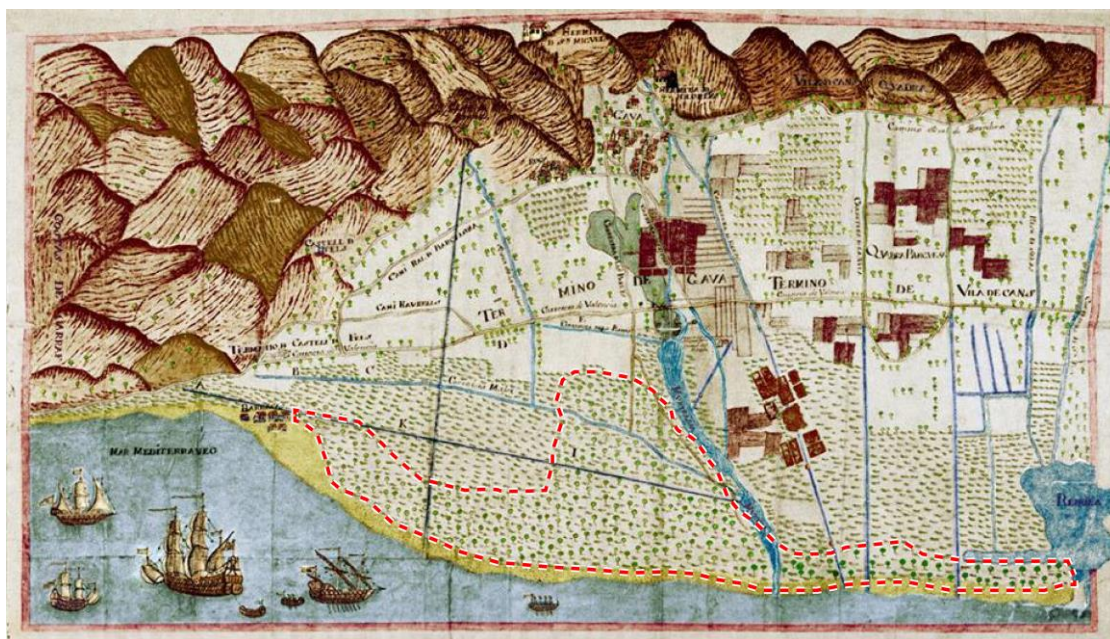


Figura 91. Reproducció del mapa de les marines de la baronia d'Eramprunyà el 1590. En línies discontinues es remarquen el que s'entén com a límits de la pineda.

Font: Fons del Centre d'Estudis de Gavà

Amb el procés de desamortitzacions del segle XIX gran part de les pinedes es van convertir en parcel·les de camps de cultiu de cereals i fruiters. També el segle XIX hi ha constància de plantacions de pins a primera franja del litoral, quan l'enginyer forestal Hilarión Ruiz Amado, el 1893, aconsellava en una publicació a la *Revista Montes* plantar pins a la primera franja del litoral i extreure les sorres de les dunes superficials per aprofitar-la pels cultius. Les quantitats de sorres aportades des de la primera franja del litoral fins les maresmes devia ser tal que fins i tot es van servir d'un transporta càrregues que corria damunt unes vies fixades al terra instal·lades per a l'ocasió. El testimoni d'Amado és l'únic que apunta la possibilitat que les terres de cultiu quedessin soterrades per sorres mòbils, de la mateixa manera que, ell mateix diu, ha passat a Roses i a Bordeus. Per evitar que això succeeixi, proposa plantacions de pins després de les extraccions d'arenes. En aquest punt, cal evidenciar que la invasió dels cultius per part de les dunes no havia passat, tant sol es proposa la fixació dunar com a mesura prudencial que serviria, alhora, per a l'explotació forestal.

També a finals del segle XIX hi ha diverses referències a la plantació de pinedes damunt les dunes situades a l'extrem interior de la platja. El *Congreso Médico* de 1888 o la publicació del llibre *Lo sanejament del Llobregat*, són un testimoniatge de la necessitat d'utilitzar les sorres de les dunes per curullar llacunes i maresmes i combatre, així, el paludisme. Els mateixos textos aconsellen que posteriorment caldria plantar pins als sorrals per a l'aprofitament forestal ja que s'adverteix que aquesta activitat seria l'única possible amb rendiment econòmic a la zona de dunes. Finalment, la *Ley de Fomento* de 1868 animava a cobrir les zones palustres amb sorres i impulsava les plantacions de pins i eucaliptus per part dels propietaris, quedant aquests exemptes d'impostos si reconvertien les terres en arbredes.

En totes aquestes fonts documentals no s'ha trobat cap projecte oficial que plantegés o assumís els treballs de fixació dunar amb pins amb l'objectiu d'evitar-ne l'avenç terra endins. Això fa pensar que les dunes litorals del delta no presentaven problemes rellevants de mobilitat que colguessin terres de cultiu. Més aviat es va impulsar el soterrament de les zones properes a les dunes per acabar amb les zones de maresmes i fomentar les terres de cultiu. Ja a la segona dècada del segle XX, la *Llei de Dessecació de Maresmes* (*Gaceta de Madrid*, núm. 208, de 27 de juliol de 1918) promoguda per Francesc Cambó, va acabar amb més de dos quilòmetres i mig de maresmes entre Castelldefels i Sitges (Cambó, 1919). L'assecat de maresmes es considerava un bé social i per fomentar-ne l'eficiència els terrenys secs passaven a ser propietat del promotor.

Tot i la constatada alteració de les dunes durant els darrers segles, encara a finals del segle XIX i fins ben entrat el segle XX hi havia grans formacions de dunes que sobrepassaven els deu metres a la costa sud del delta. Pascual Madoz deixa constància de les dunes de Castelldefels quan al seu *Diccionario* es refereix que “*el terreno es de buena calidad a excepción de la parte cercana al mar, en que es flojo y arenoso, en cuyo litoral han formado los recios vientos que soplan de continuo una cordillera de montes de arena que parecen estar marcando límites a las aguas del Mediterráneo*” (P. Madoz, vol. VI, p. 95, 1847). Al marge d'aquest text, el mapa geològic de la província de Barcelona elaborat per Almera i Brossa (1891) il·lustra justament com la part més meridional del delta estava ocupada per una zona de dunes a finals del segle XIX (Figura 92).

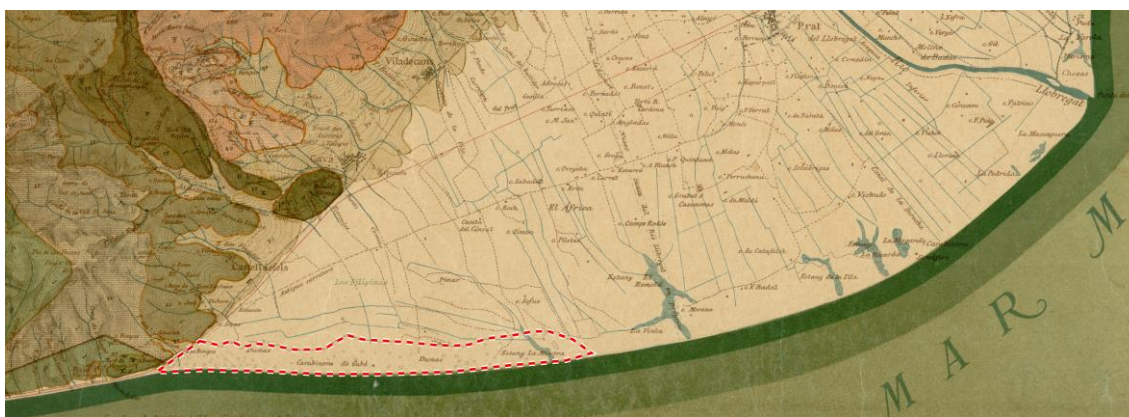


Figura 92. Part del *Mapa geològic y topográfico de la provincia de Barcelona: región primera ó de contornos de la capital detallada*. En vermell s'indica la part del mapa on es cartografiaren les dunes situades a la part occidental del delta

Font: Almera i Brossa (1891)

També durant la primera meitat de segle XX trobem referències bibliogràfiques i cartogràfiques que constaten les encara presents dunes del sud de Castelldefels. Marcel Chevalier en el seu llibre *El paisatge de Catalunya* de 1928 en fa esment dient simplement

que “A Catalunya hom en troba [de dunes] al delta del Llobregat, al sud de Castelldefels, on tenen una certa importància” (M. Chevalier, p. 140). Les dunes de Castelldefels devien són un element significatiu per a Chevalier perquè les hi fa constar en una cartografia de la zona deltaica del Llobregat que ell mateix elabora (Figura 93).

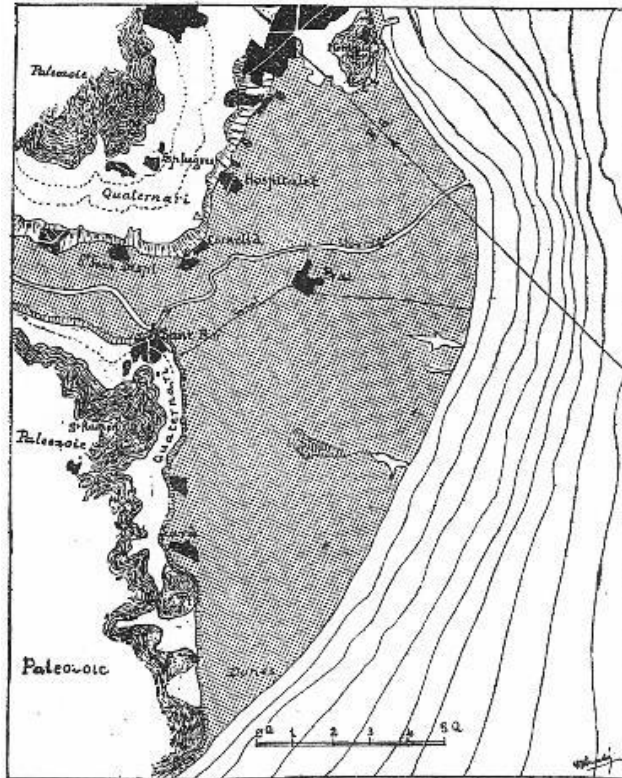


Figura 93. Mapa geològic on es constata l'existència de dunes a l'extrem més occidental del delta del Llobregat

Font: Chevalier (1928)

El mateix any, també el treball realitzat per Sennen i titulat *La flora de la duna barcelonesa de Castelldefels* (Sennen, 1928) constata l'existència de dunes al municipi de Castelldefels. Aquest autor atribueix una alçada de les morfologies dunars que no supera els 10 metres i constata la presència d'espècies típiques de sistemes platja-duna com *Cakile maritima*, *Ammophila arenaria*, *Sporobolus pungens*, *Elymus farctus*, *Matthiola sinuata*, *Malcolmia littorea*, *Erodium laciniatum*, *Polygonum maritimum*, *Phleum arenarium*, *Silene nicaeensis*, *Medicago marina*, *Pancratium maritimum*, *Calystegia soldanella*, *Euphorbia peplis*, *Euphorbia paralias*, *Eryngium maritimum*, *Echinophora spinosa*, *Stachys maritima*, *Teucrium dunense*, *Pseudorhiza pumila*, *Ononis ramosissima* o *Crusianella maritima*. També cal destacar la presència ja aleshores destacable de l'espècie invasora *Xanthium italicum*. El mateix Sennen especifica que més enllà de Castelldefels les sorres de la platja no formen dunes i, a més, constata l'extracció d'àrids mitjançant vagons de tren que transporten contínuament les arenes de la platja terra endins per diversos usos, finalitats i destinacions.

Dos anys més tard, un dels plànols datat el 1930 d'atermenament de la zona marítimo-terrestre (Figura 94), cartografiava una zona àmplia de cordons dunars on les corbes de nivell li atribueixen més de deu metres al monticle més alt. Justament aquest camp dunar s'enfilava cap el massís del Garraf, a l'oest, en forma de duna grimpadora que assolia els peus de la Torra Barona, una edificació del 1583 situada a 50 metres sobre el nivell del mar. La continuïtat que devia tenir aquesta duna amb la zona de dunes de la platja va quedar

evidentment interrompuda per la construcció de la via de tren que unia les ciutats de Barcelona amb la de Vilanova i Valls, inaugurada el 1881 i més tard per l'ampliació de la connexió des de la Gran Via de les Corts Catalanes fins a Castelldefels que tingué lloc als anys trenta del segle passat.

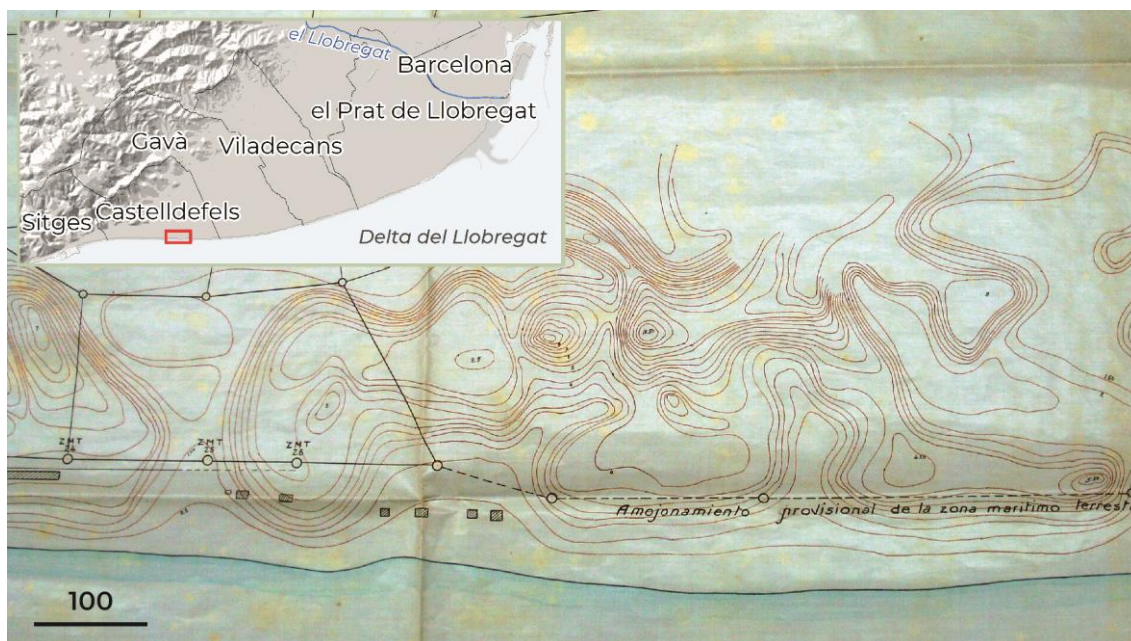


Figura 94. Part de la cartografia realitzada per Baños de Castelldefels S.A. dins de l'expedient d'Obres Públiques de 1930 per delimitar la ZMT previ a la fase d'urbanització

Font: Baños de Castelldefels S.A. (1930)

En el present treball no s'ha pogut datar el moment exacte en què desapareixen aquestes grans dunes de Castelldefels. Tot i això, es poden fer dues constatacions al respecte que són les següents: (1) cap projecte d'obra pública ha fixat amb pins aquesta àrea i (2) aquestes dunes avui dia són inexistents ja que l'indret presenta un perfil topogràfic gairebé pla. La hipòtesi més provable apunta que aquestes dunes haurien estat utilitzades com a material de construcció per a l'expansió urbanística a la platja de Castelldefels. Els "Banys de Castelldefels" suposarien l'inici de la irrupció turística al municipi i, en bona part, aquests habitatges acabarien implementant-se majoritàriament sobre l'espai natural de les dunes. Els constructors es podrien haver servit dels materials sorrencs per dur a terme el projecte. En aquest sentit, Ruiz Amado ja el 1893 apuntava en una publicació a la *Revista Montes* que caldria reservar part de la sorra de les dunes destinada a soterrar maresmes per a la construcció de les cases pels colons.

Els anys trenta es va començar a plantejar la possibilitat d'establir balnearis i llocs d'oci i esbarjo a les platges del Baix Llobregat. Aquests projectes d'urbanització van venir de la mà de l'empresa Baños de Castelldefels S.A., que ja als anys vint va començar a obrir camins cap a la platja, i a construir sobre les dunes. Aquesta mateixa empresa va obtenir la concessió per implementar xalets i cases unifamiliars a tota la zona seguint el model d'urbanització difusa. Des d'aquest moment, i fins l'any 1945, bona part del camp dunar de Castelldefels ha desaparegut i en el seu lloc s'hi emplaça el conjunt de cases unifamiliars que conforma la zona de les Botigues de Castelldefels (Figura 95). Aquesta coincidència ens remet a pensar que bona part del material per a construir els xalets podria haver estat extret de les grans formacions de dunes que fins aleshores albergava la platja.



Figura 95. Fotografia aèria del delta del Llobregat el 1961. En la imatge, presa des de Sitges, s'observa la gran pineda del delta i, a primer pla, la zona urbanitzada de les Botigues de Castelldefels

Font: SACE (1960-1986)

En la línia de les extraccions d'àrids altres testimonis orals han provat la utilització de les sorres de les dunes com a materials de construcció. El mateix Andrés Valverde, biòleg i gran coneixedor del delta del Llobregat, relata alguns testimoniatges que no deixen indiferent (Valverde com. pers). El capellà de l'església de Santa Maria de Castelldefels narrava a Valverde que aquesta edificació religiosa va ser aixecada el 1909 gràcies a les sorres que constituïen les dunes del mateix municipi. També una altra veïna del poble li contava com utilitzava les grans dunes que s'enfilaven pel vessant de la muntanya que puja a Torre Barona per llançar-s'hi amb les amigues a mode de tobogan. Poc després, aquesta duna grimpadora va ser fixada amb pins per evitar-se el seu avenç. El mateix biòleg assegura que encara a finals del XX era espectacular inclús de veure les dunes sota els pins. Però lamenta l'espectacle que va trobar-hi pocs anys després en visitar la zona i presenciar-hi un garbuix de sorres remogudes i arbres arrencats. Aquest fet coincidia justament amb l'inici de la construcció dels apartaments de la Raconada i dels edificis propers (Valverde com. pers).

Aquestes pinedes actualment són un hàbitat d'interès prioritari per la Unió Europea (CEE, 1992). Les arbredes de pins del delta ocupen la primera franja del litoral dels municipis del Prat de Llobregat, Viladecans, Gavà i Castelldefels i descansen sobre morfologies dunars i dipòsits al·luvials quaternaris, de textura sorrenca i orografia ondulada. De fet, les pinedes són la darrera zona del delta que resta sense anivellar i conserven la topografia originària de les morfologies deltaïques que el constituïrien. El creixement urbanístic de la segona meitat del segle XX va eliminar bona part de les pinedes i en va fragmentar les restants (Figura 96). Les pinedes que avui dia romanen al delta sobre antigues morfologies dunars tenen dos orígens ben diferenciats. Per una banda, hi ha parcel·les amb pinedes que han estat plantades, tal i com els documents esmentats anteriorment constaten. Però d'altra banda, també hi ha arbredes de pins que s'han format espontàniament en les darreres dècades fruit de l'expansió de les pinedes interiors més antigues. Ens referim a algunes arbredes de pins properes a les platges del delta, com la pineda de la platja del Remolar.

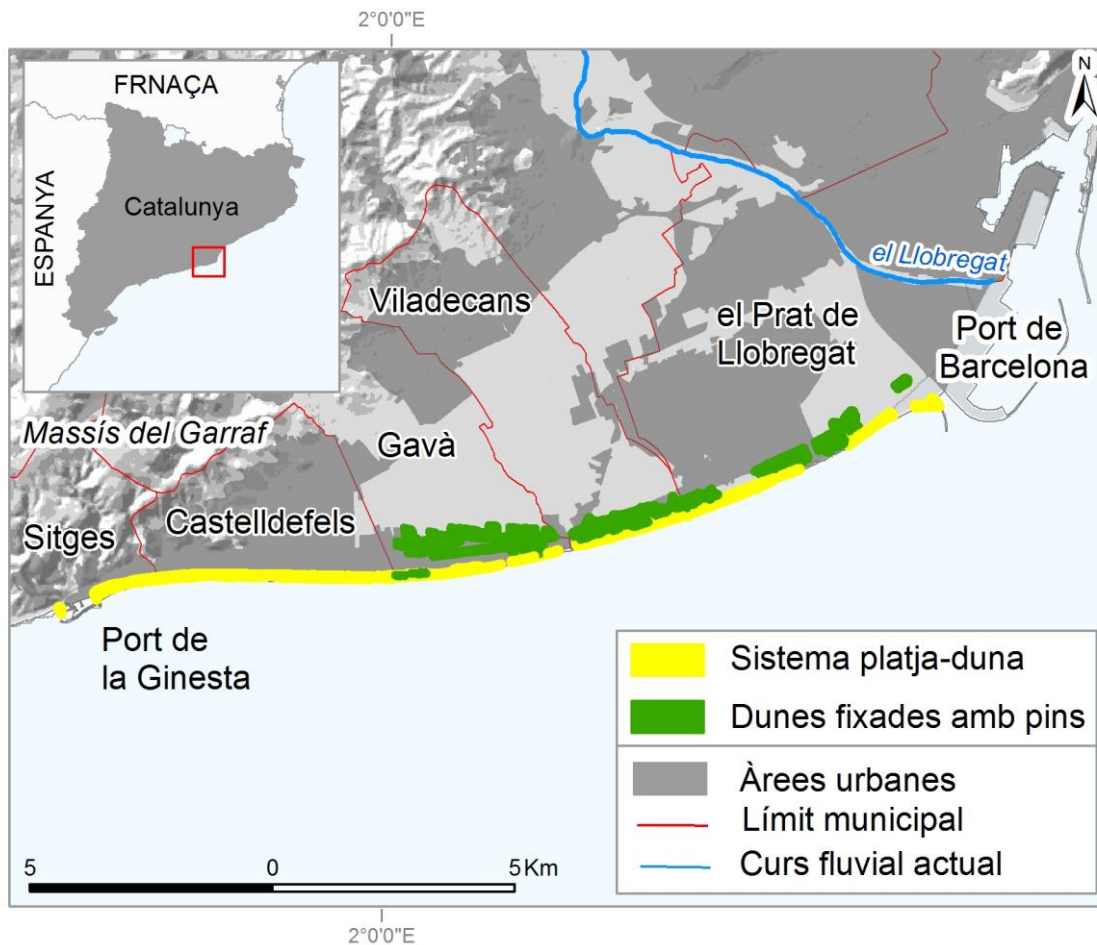


Figura 96. Dunes actuals al delta del Llobregat

El cas del delta del Llobregat brinda un clar exemple de l'exercici de reconstrucció històrica que brinden les fonts documentals. En aquesta línia, les fonts històriques bibliogràfiques i cartogràfiques són escasses i només fan referència als sistemes dunars més ben coneguts i molt desenvolupats, situats, com bé s'ha indicat al llarg d'aquest treball, al voltant de les desembocadures dels rius. Els llibres antics escrits per viatges, geògrafs o exploradors que s'han consultat (Carreras Candi, 1908-1918; Chevalier, 1928-1936; Vila, 1928-1936), només fan referència a les grans muntanyes de sorra localitzades als massissos del Montgrí i Begur, al delta del Llobregat i al cap de Salou. Al marge d'aquestes formacions dunars, també Chevalier (1928-1936) menciona dunes a Calafell, les de Salou, les del delta del Llobregat i les del delta de l'Ebre:

“A Catalunya hom en troba [de dunes] al delta del Llobregat, al sud de Castelldefels, on tenen una certa importància; a Calafell; i sobretot a les platges del cap de Salou, on han assaltat els arbres i on alguns d'aquests, mig ensorrats, no deixen veure més que el cim. A la desembocadura mateixa de l'Ebre hi ha també algunes dunes de poca importància, sobretot i hom en compara la superfície amb la que ocupen els sediments del delta.”

6.1.3. El cap de Salou

Les dunes del cap de Salou són descrites per primera vegada per Faura-i-Sans (1917) i posteriorment per Bataller i Vilaseca (1923) les examinen i cartografien acuradament (Figura 98). Bataller i Vilaseca (1923) es referien a les dunes del cap de Salou com una de les morfologies dunars més destacables del país, juntament amb les de l'Empordà o

Castelldefels. Els testimonis escrits i visuals (Figura 97) verifiquen que aquestes sorres foren grans dunes que escalaven els terrenys escarpats i emplenaven les fondalades del cap des de Salou fins Vilaseca. La direcció en què s'estenien els sediments era, seguint la direcció dels vents dominants de ponent, d'oest a est, i en menor mesura, s'estenien cap a la punta del cap influenciades pel mestral que desplaçava les sorres formant una llengua cap al sud-est. En el seu trajecte, les dunes s'enfilaven més de 100 metres d'altitud on assolien profunditats de fins a 50 metres i més de 5 km² de superfície. Segons Bataller i Vilaseca (1923) exposen que el gruix mitjà de les dunes era de l'ordre dels 20 metres d'alçada i les sorres eren tan fines que bastaven vents de 2m/s per moure'n les partícules i arrossegar-les muntanya amunt.



Figura 97. Dunes del cap de Salou
Font: Bataller i Vilaseca (1923)

Actualment, bona part d'aquests arenals es troben sota les edificacions del barri Mar i Camp de Salou. Altres, podrien haver estat utilitzats com a material de construcció. El cert és que avui dia d'aquestes dunes no en queda ni rastre. Segons el mapa geològic de Catalunya (ICGC, 2016a), els materials del cap de Salou no són d'origen sorrenc i, solament, l'extrem oriental de la platja Llarga de Salou presenta dunes fixades amb pins que s'estenen cap a l'interior del cap. Tampoc s'han trobat treballs que apuntin l'existència de morfologies dunars sota les actuals pinedes del cap de Salou, com si s'han trobat pel cas del delta del Llobregat (Valverde, 1998) o a l'Alt Empordà (Cros, 1987; Cros & Serra, 1990, 1993). En aquest sentit, calen profunds estudis d'ecologia històrica destinats a determinar l'evolució dels arenals saulonencs i el seu ritme de degradació al llarg de les darreres dècades.

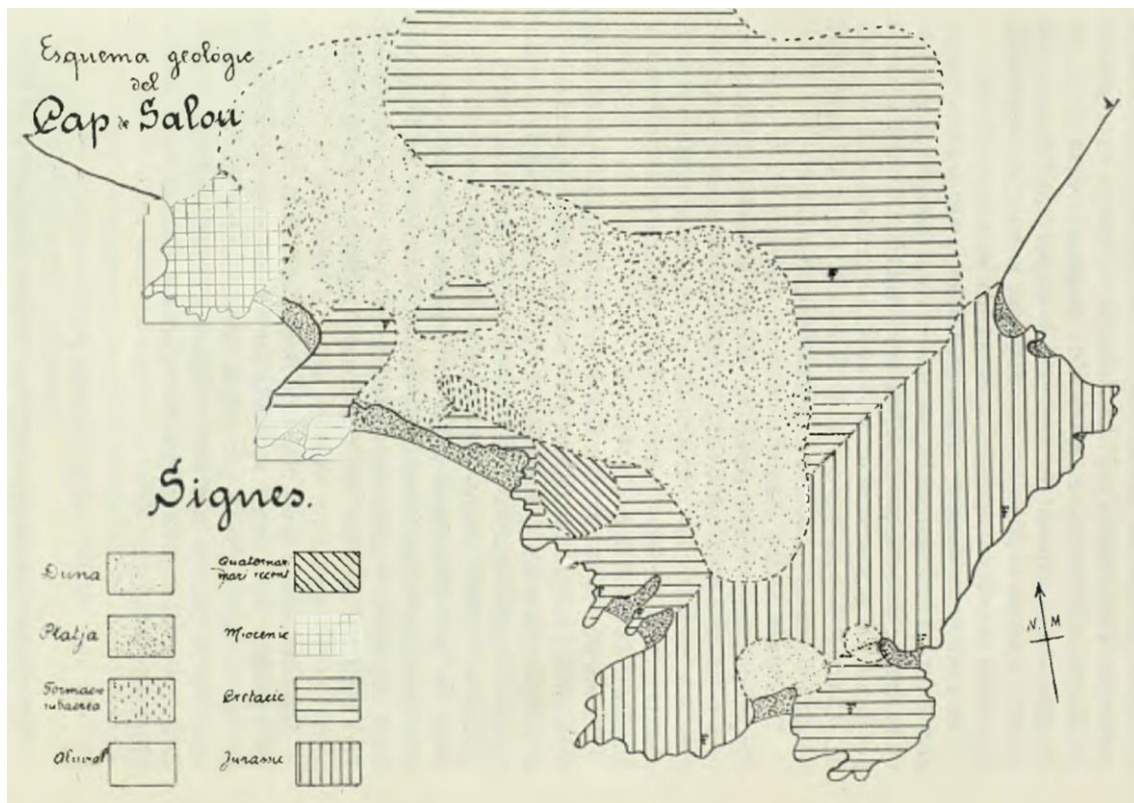


Figura 98. Esquema geològic del cap de Salou
 Font: Bataller i Vilaseca (1923)

A banda de l'esbós del cap de Salou que Bataller i Vilaseca (1923) il·lustren en el seu treball (Figura 98), la resta de documents cartogràfics han aportat exclusivament informació de camps dunars de grans extensions. Després de revisar minuciosament les primeres edicions del Mapa Topogràfic Nacional (MTN) a escala 1:50.000 (ICC, 2012), únicament les platges de Sant Pere Pescador (full 296), la badia de Pals (fulls 297 i 335) i el delta de l'Ebre (full 523) apareixen morfologies dunars (Figura 99).

6.1.4. El delta de l'Ebre

Seguint el fil del paràgraf anterior, en el cas del delta de l'Ebre només es mostren dunes a l'hemidelta nord, en el que serien dos camps dunars que els autors anomenen els Mantells del Tramuntano i el Mantell Gros (Figura 99). També és en aquesta regió del delta on el Mapa Topogràfic de Catalunya a escala 1:100.000 (full 43) plasma l'existència dels Mantells de Tramuntano (Figura 100) (SGMC & IEC, 1918).

Sorprenentment, el MTN no detalla els grans camps dunars que sí hi havia en aquella època a la part més occidental del delta del Llobregat. En canvi, aquests sorrals sí estan detallats al mapa Topogràfic de la Província de Barcelona (Almera & Brossa, 1891) i als plànols que acompanyen l'expedient d'Obres Públiques de 1930 per delimitar la zona marítim-terrestre (Figura 92 i Figura 94). És especialment sorprenent que les dunes del delta del Llobregat no es cartografiessin en el MTN donades les dimensions que assolien i que en alguns trams ultrapassaven els 10 metres d'alçada. D'aquestes muntanyes de sorra n'han quedat testimonis gràfics que avalen tant la seva existència com les seves dimensions (Figura 101).

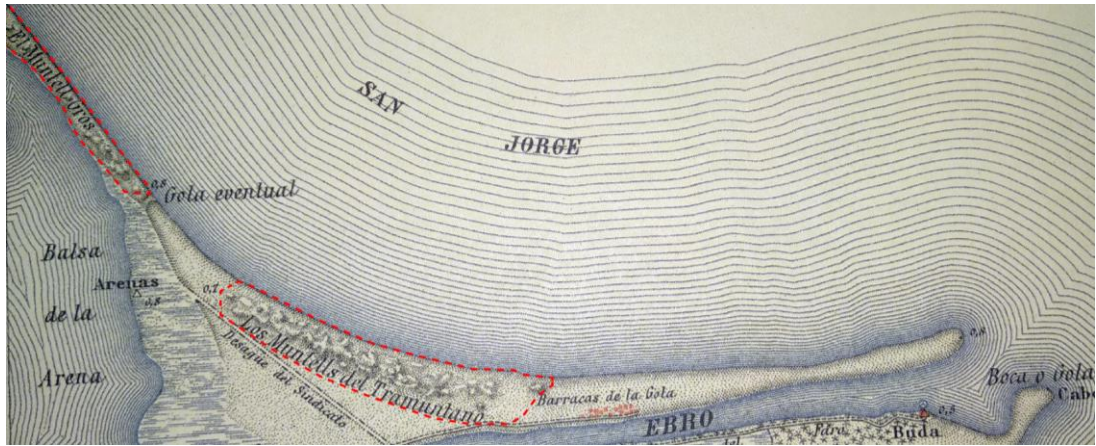


Figura 99. Full 523 del MTN d'Espanya corresponent a la desembocadura del delta de l'Ebre. En vermell es ressalten els camps dunars del Mantell Gros i dels Mantells del Tramuntano

Font: ICC (2012)

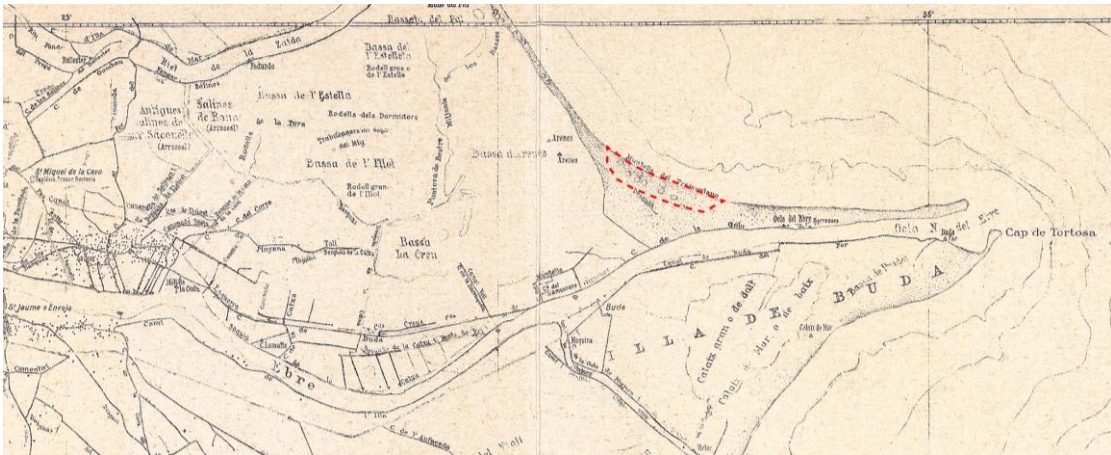


Figura 100. Full 43 del Mapa Topogràfic de Catalunya corresponent a la desembocadura del delta de l'Ebre. En vermell es ressalten els camps dunars dels Mantells del Tramuntano

Font: SGMC i IEC (1918)



Figura 101. Dunes a Castelldefels

Font: ICGC (2015a)

6.1.5. Fonts documentals

Amb tot això, s'ha pogut constatar que la utilització de documents bibliogràfics i cartogràfics antics té certes limitacions alhora de localitzar dunes en el passat. Amb l'ús d'aquests documents ha estat difícil definir la presència dunar al llarg de tot el litoral català ja que hi ha nombroses regions on les dunes no són ni cartografiades ni esmentades. En aquest sentit, ha estat indispensable la consulta de fonts visuals, com les fotografies aèries i convencionals, per tal de reconstruir un mapa sobre la presència de dunes entre els anys 1890 i 1960 (Figura 61 i Figura 65), moment en què apareixen els primers documents fotogràfics. Decididament, pel que fa a la presència dunar les fotografies convencionals de la primera meitat del segle XX han aportat més informació que qualsevol altra font consultada.

Sovint, els estudis d'ecologia històrica enfocats a reconstruir paisatges antics adopten mètodes quantitius que permeten concretar la superfície alterada al llarg del temps en el marc d'unes dates concretes. En contrast amb aquestes metodologies quantitatives, en aquest apartat es detallen els canvis en el paisatge dunar al llarg de la costa catalana tenint en compte estrictament la presència/absència de morfologies dunars. En aquest sentit, cal tenir present que la font documental més útil per a la reconstrucció dunar han estat les fotografies convencionals. Aquest material gràfic aporta informació visual sobre part de la platja i, en general, és impracticable de delimitar l'extensió que ocupaven les dunes en el passat tan sols utilitzant aquesta font.

D'altra banda, la urbanització actual d'antigues zones dunars dificulta l'aplicació de tècniques com geo-radar o cores per determinar la presència de dunes en el passat. Tanmateix, moltes de les dunes desaparegudes eren d'escassa superfície i discret desenvolupament, fet que impedeix determinar la presència dunar en el passat mitjançant altres tècniques més enllà de la consulta de fonts fotogràfiques. Tot i això, la mala qualitat de les fotografies antigues o les vistes panoràmiques sobre tota la platja, han dificultat la identificació de morfologies dunars i, en un gran nombre de casos, s'ha descartat la presència dunar per falta d'evidències visuals. Així mateix, algunes zones del litoral català, com la Costa del Maresme, el sud de la Costa Brava o les Costes del Garraf, presentaven dunes incipients de desenvolupament molt escàs equiparables a les actuals dunes embrionàries de Malgrat (Figura 102) o d'Arenys de Mar (Figura 108). Aquest fet ha dificultat en molts casos la correcta identificació dunar i només s'ha considerat que hi havia dunes en els casos que una fotografia de detall permetés la determinació del que eren morfologies dunars (Figura 103), malgrat que incipients.



Figura 102. Dunes incipients a la platja de la Pomereda (Malgrat de Mar, Barcelona)

Data: abril de 2017



Figura 103. Platja de Vilanova i la Geltrú (Barcelona). Al fons s'aprecia el far de Sant Cristòfol

Data: 1910 – 1930

Font: Institut d'Estudis Fotogràfics de Catalunya

6.1.6. Transformació del paisatge dunar, quantificació i qualificació

Després de localitzar les dunes en el passat, s'ha procedit a determinar el tipus de transformació que aquestes morfologies han sofert al llarg de les darreres dècades (Figura 65). Pel que fa l'anàlisi de les 201 platges que presentaven dunes en el passat, les dunes han desaparegut al 61% de platges, mentre que gairebé el 30% de platges han sofert disminució de l'hàbitat dunar, i tan sols el 9% han sofert canvis poc rellevants (Figura 66). La província de Barcelona, on les dunes han desaparegut a prop del 80% (Figura 66), encapçala el procés de transformació antròpica que ha sofert el litoral català. Els municipis d'aquest àmbit provincial són, de llarg, els més poblats de la costa catalana, ultrapassant els 5.000 hab/km² en tots els casos (Pintó et al., 2018). Malgrat això, durant la primera meitat del segle XX ja presentava menys sistemes platja-duna que la resta de províncies (50 platges vers les quasi 80 de Tarragona i les més de 70 de Girona i -Figura 66-).

Per una banda, les característiques geoambientals del litoral barceloní haurien dificultat el desenvolupament dunar ja que, amb excepció del delta del Llobregat, compta amb sorres gruixudes i vents febles (Figura 30). Per altra banda, el desenvolupament urbanístic al voltant de la ciutat de Barcelona hauria acabat amb la presència de dunes molt abans del període estudiat (1890 – 1960). Segons Michelot et al. (1727) el sector nord del litoral de la ciutat allà el segle XVIII presentava morfologies dunars prou remarcables com per ser citades a la cartografia de l'època (Figura 104). A mitjan segle XIX, entre 1848 i 1861, es desenvolupa progressivament la línia ferroviària que s'estendria des de Barcelona fins Tordera, resseguint tots els municipis del litoral, des de la ciutat comtal a Malgrat de Mar. Aquesta infraestructura es va emplaçar entre la platja i les viles i, molt probablement, hauria estat la responsable de substituir les morfologies dunars existents en alguns municipis afectats. Així mateix, amb l'arribada dels primers passejos marítims, impulsats per la llei de passejos marítims de 1919 (Cambó, 1919) i més tard per la Llei de costes de 1969 (BOE, 1969), algunes morfologies dunars també haurien estat destruïdes.

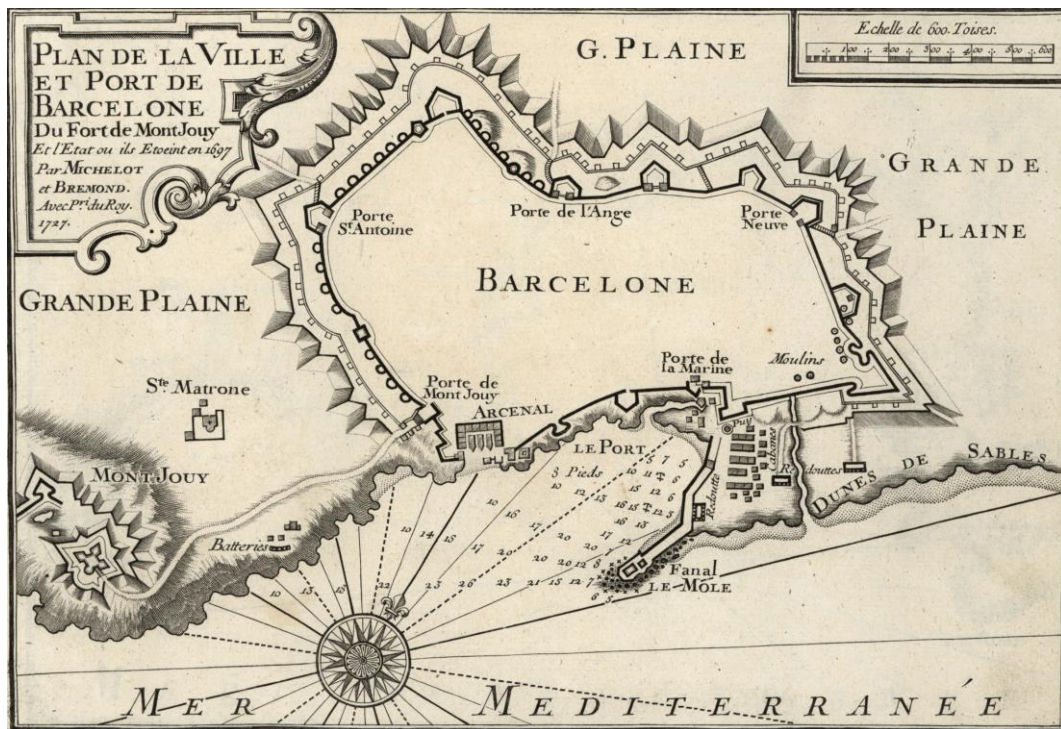


Figura 104. Plànol de la ciutat de Barcelona de 1727 per Henri Michelot i Starckman Laurent. A l'extrem oriental del litoral que representa la cartografia, s'emplaçaven les antigues dunes de la ciutat de Barcelona

Font: Michelot et al. (1727)

Tot i que la costa barcelonina lidera la taxa de desaparició dunar al llarg de les darreres dècades (prop d'un 80%), les dunes identificades en fotografies antigues són dunes embrionàries de petita entitat. Les platges amb dunes de la Costa del Maresme i les Costes del Garraf no assolien dimensions destacables, ni en alçada ni en superfície (vegeu la Figura 64 i la Figura 103 com a exemple de platges amb dunes incipients a la Costa del Maresme i a les Costes del Garraf). A més, sovint en aquests trams de costa, les morfologies dunars incipients es relegaven als sectors de platja alta on les barques pesqueres en malmetien les morfologies. Ja durant la primera meitat de segle passat les platges eren utilitzades per activitats tradicionals que ocupaven parcialment la platja alta i n'alteraven el sistema dunar. És justament a la Costa del Maresme on s'han localitzat bona part dels casos de desaparició dunar de Barcelona indicats a la Figura 66 i cartografiats a la Figura 65. Convé subratllar que la costa maresmenca, malgrat ser un dels sectors que ha perdut dunes menys desenvolupades, és un dels trams de costa més afectats per la desaparició dunar. El delta del Llobregat és, per contra, un dels principals emplaçaments històrics de camps dunars de Catalunya, on les dunes assolien gran extensió i alçada. A pesar de la notòria entitat que prenen les dunes al delta, avui dia totes les platges han sofert disminució d'hàbitat dunar, sent aquesta zona la que correspon als 11 casos d'aquesta categoria de la província de Barcelona (Figura 65 i Figura 66).

No gaire lluny d'aquesta xifra es troba la costa gironina, on el 60% dels casos s'han vist afectats per l'extinció dunar (Figura 65 i Figura 66). Tot i això, el valor percentual s'alinea amb la tendència catalana que presenta una taxa de desaparició del 61% de les platges (Figura 66). També en concordança amb el conjunt català es troben les taxes de disminució dunar (26%) i canvis poc significatius (13%). La Costa Brava és una de les regions més turístiques de la costa catalana, on les segones residències suposen entre el 50 i el 75% dels habitatges a quasi tots els municipis litorals (Pintó et al., 2018). De fet, l'espai urbanitzat a la Costa Brava s'ha vist multiplicat per 8 al llarg de la segona meitat de segle XX, quan ha

passat de comptar amb menys de 1.000 hectàrees de sòl urbanitzat el 1957 a tenir-ne més de 7.500 el 2003 (Martí, 2005). També, les dues marines situades al golf de Roses han contribuït en gran mesura a la degradació de l'hàbitat dunar, en tant que bona part s'ha implementat damunt d'espai dunar i, de retruc, han suposat l'increment del flux de gent a les platges del voltant.

Tot i les alarmants xifres de destrucció dunar de la província de Girona (44 casos), un gran nombre de les platges afectades oferien unes morfologies dunars degradades ja abans de 1960. En ocasions, aquestes platges estaven limitades parcialment per un passeig arbrat, mur o talús que hauria suposat l'eradicació de morfologies dunars en la seva construcció. Aquest fet, sumat a la utilització de la platja com a espai per deixar-hi les barques pesqueres, ocasionava ja aleshores fragmentació i aïllament dels sistemes dunars. Aquest perfil de platges correspon a les platges de Palamós, Sant Feliu, Tossa de Mar, Lloret de Mar i Blanes.

Per últim, la Costa Daurada lidera les xifres de conservació dunar de tot Catalunya (Figura 65 i Figura 66). La costa tarragonina ofereix l'escenari menys destructiu dels tres àmbits provincials amb menys del 50% de desaparició dunar i menys del 40% de disminució d'hàbitat dunar (Figura 66). Tot i que els camps dunars del delta de l'Ebre encara persisteixen avui dia, la línia de la costa ha experimentat un retrocés a causa de la manca de sediments aportats pel riu (Crous & Pintó, 2005; Jiménez, 1996; Jiménez & Sánchez-Arcilla, 1993; Jiménez et al., 1997; Valdemoro, Sánchez-Arcilla, & Jiménez, 2007), i l'extensió de dunes ha minvat en algunes regions del delta al llarg de les darreres dècades (Barrio-Parra & Rodríguez-Santalla, 2016; Rodríguez-Santalla et al., 2009; Sánchez-García et al., 2011). També, la platja dels Muntanyans i algunes platges encaixades amb dunes grimpadores, com la platja del Torn (Figura 45), s'han conservat sense canvis rellevants malgrat el pas dels anys.

En relació a l'evolució històrica del paisatge dunar, val a dir que en aquesta recerca no s'ha especificat la tipologia dunar sotmesa a al canvi. En altres paraules, aquest estudi no ha tingut en compte les dimensions dunars i, per tant, la magnitud de la transformació (si es tracta de dunes embrionàries o codons dunars de grans dimensions). El cert és que el mètode emprat es basa en els mètodes tradicionals d'ecologia històrica per a analitzar l'evolució del paisatge al llarg del temps, com són fotografies, mapes i escrits de l'època (Norton, 1984). La cartografia i la fotografia aèria vertical no permet identificar el volum de les morfologies dunars, fet que en dificulta la determinació tipològica. Aquest limitació en la metodologia emprada, ha dificultat la interpretació dels resultats ja que s'atribueix a la costa barcelonina una xifra de desaparició dunar corresponent a 39 platges, però que es tracta en molts casos de dunes embrionàries. En canvi, pels els casos de desaparició dunar de la Costa Daurada o la Costa Brava (39 i 44 casos, respectivament) es tracta en nombroses ocasions de cordons dunars de grans volums.

Factors de la transformació

L'anàlisi de correspondències múltiples (MCA) il·lustrada a la Figura 105 mostra una clara correspondència entre les dunes desaparegudes i les costes baixes (Figura 105 grup A), mentre que les dunes que han disminuït d'extensió o han sofert pocs canvis estan relacionades amb les costes altes (Figura 105 grup B i C). La dificultat d'accés a les platges amb vehicle rodat hauria disminuït l'afluència de gent, així com també impediria l'acció de les màquines aplanadores, contribuint així a la conservació del sistema dunar. Decididament, les costes altes amb dunes grimpadores han conservat molt millor les morfologies dunars que les costes baixes, malgrat que les primeres presentessin, d'entrada, unes dunes molt menys desenvolupades. En canvi, les costes baixes han estat àmpliament afectades per la urbanització i la gestió de la platja que prioritza els usos recreatius vers els usos naturals i de protecció. Aquesta dinàmica ha comportat una degradació sense precedents dels hàbitats dunars arreu del país.

Preneu el sector nord de la platja del Torn, il·lustrada a la Figura 45 i a la Figura 77, i la cala Borró, representada a la Figura 48B i a la Figura 75, com a exemples de conservació de dunes grimpadores situades en sectors de costa alta.

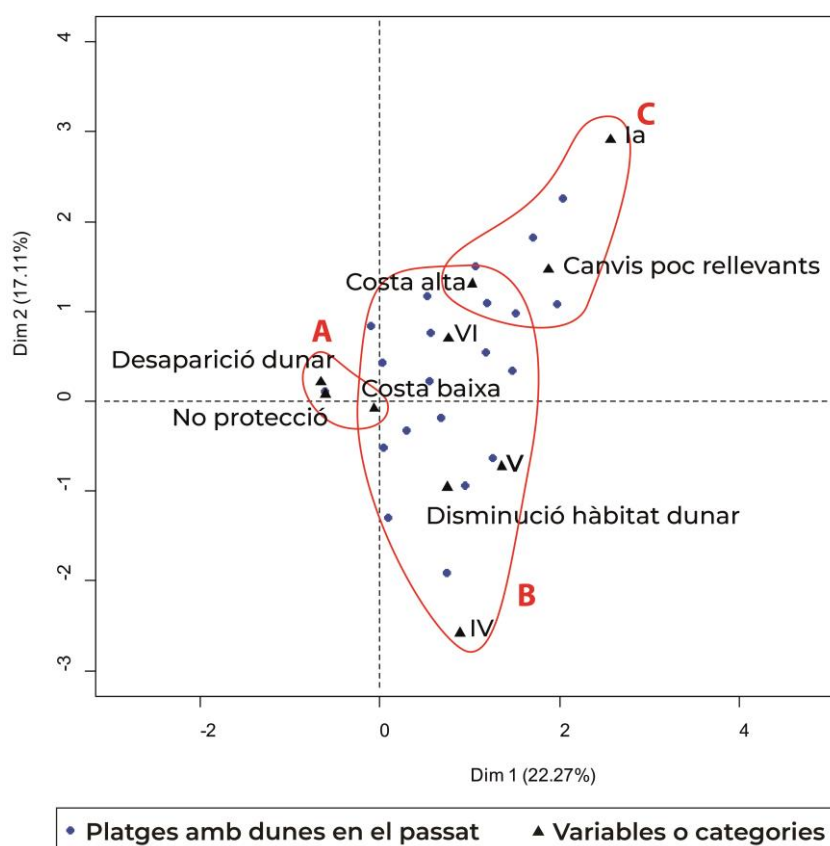


Figura 105. Agrupació de les variables a partir de l'anàlisi de correspondències múltiples. El grup A denota la relació entre la desaparició dunar, la costa baixa i la manca de protecció; el grup B estableix que la disminució de l'hàbitat dunar s'ha donat tan en trams de costa alta com de costa baixa que gaudeixen de nivells mitjans de protecció; el grup C constata que les platges amb pocs canvis es situen en trams de costa alta i espais amb figures d'alt grau de protecció.

Al marge de la tipologia de la costa, la protecció de les platges com a espais naturals també ha afavorit la preservació dunar: les dunes que han suportat menys canvis estan ubicades en espais naturals protegits (Figura 105 grup C). Es tracta de les platges situades al golf de Roses, a la badia de Pals, al delta del Llobregat i, especialment, al delta de l'Ebre (Figura 36). També, la protecció del cap de Creus sota l'etiqueta de Reserva Natural Integral (Ia segons la IUCN) ha afavorit la conservació de dunes incipients localitzades al llarg del paratge natural (Annex 7). Contràriament, les dunes han desaparegut sobretot en espais mancats de figures de protecció (Figura 105 grup A), com les zones del sud de la Costa Brava, la Costa del Maresme, el nord de la Costa Daurada que, efectivament, temps enrere presentaven algun tipus de morfologia dunar (Figura 61 i Figura 65). La Figura 105 (grup B) apunta que la degradació dunar ha estat menys acusada en espais amb figures de protecció moderades o baixes (protecció IV, V i VI segons la IUCN -Taula 8-). Aquestes platges es localitzen sobretot al nord de la Costa Daurada, al delta del Llobregat i al nord de la Costa Brava i corresponen a les categories EIN (Espai d'Interès Natural) i PNIN (Paratges Naturals d'Interès Nacional) representats a la Figura 36.

D'aquesta manera, l'anàlisi estadística MCA ha permès determinar tres patrons de comportament segons la relació que s'estableix entre el tipus de transformació i la resta de variables o categories estudiades (tipus de costa i protecció d'espai natural):

- **Grup A:** com a tendència general, les dunes desaparegudes es situen en trams de costa baixa sense figures de protecció (Figura 105 grup A).
- **Grup B:** les dunes que han disminuït la superfície d'hàbitat dunar en les darreres dècades (Figura 105 grup B) s'emplacen tan en trams de costa alta com baixa i gaudeixen de categories moderades o baixes de protecció (protecció IV, V i VI segons la IUCN -Taula 8-).
- **Grup C:** els sistemes dunars que han sofert canvis poc rellevants (Figura 105 grup C) s'ubiquen eminentment en trams de costa alta i espais naturals amb figures d'alt grau de protecció (categoria I segons la IUCN -Taula 8-), però també de nivell moderat (protecció IV, V i VI segons la IUCN -Taula 8-).

A banda de relacionar el tipus de transformació dunar amb el tipus de costa i la protecció com a espais natural, també s'ha analitzat els canvis d'usos del sòl al voltant de les platges. Aquesta anàlisi ens ha permès apuntar possibles causes de l'alteració paisatgística a les platges de Catalunya.

Canvis en els usos del sòl

En primer lloc, cal constatar que la transformació paisatgística de l'entorn de la platja podria ser un dels causants en la disminució de l'hàbitat dunar (Taula 14). Mentre les dunes que han sofert canvis poc rellevants mantenen sense canvis la tipologia d'usos del sòl de la primera meitat de segle passat, les platges que han vist reduïda la seva extensió d'hàbitat dunar i aquelles on les dunes han desaparegut per complet sí que han sofert canvis significatius en els usos del sòl de l'entorn de les platges. La taula de doble entrada plasma en gran detall els canvis d'usos del sòl per a cada tipus de transformació dunar (Taula 14) i evidencia que la transformació paisatgística és més acusada contra més destrucció de l'hàbitat dunar s'hagi sofert.

Entre les principals causes de la transformació del paisatge dunar català hi trobem les activitats relacionades amb el turisme i la urbanització del litoral. El procés de *litoralització*, que està relacionat amb la concentració de les activitats i els assentaments humans al litoral (Butler, 1980; Cori, 1999; Nakhli, 2010; Serra, Vera, Tulla, & Salvati, 2014), és la causa del canvi global en el paisatge litoral, així com de la degradació i pèrdua d'hàbitat dunar. Les segones residències i els càmpings han esdevingut especialment populars al llarg de les darreres dècades, tant a la Costa Daurada com a la Costa Brava (Martí, 2005; Pintó et al., 2018). Així, la implementació d'edificacions i serveis a la platja alta, sumat als fluxos de gent que creuen constantment les dunes romanents, han estat els principals causants de la degradació dunar (Nordstrom, 2000). En particular, l'habilitació d'aparcaments al límit interior del sistema platja-duna ha estimulat l'afluència de visitants que creuen indiscriminadament els espais dunars en el trajecte d'anada i tornada a la zona de bany (Roig et al., en revisió). Tot i el declivi de les àrees dunars en benefici de les àrees urbanitzades, hi ha altres causes de degradació dunar que l'anàlisi d'usos del sòl al voltant de la platja no ha pogut constatar. Es tracta de l'ús de les dunes com a zona de transit i esbarjo. L'adequació de la platja per a l'ús turístic i recreatiu mitjançant la neteja i anivellació mecànica de la platja seca es situa entre una de les causes de la destrucció dunar (Roig-Munar, 2004). L'eliminació constant de les dunes embrionàries a l'extrem interior de la platja impedeix el desenvolupament de cordons dunars, al mateix temps que desestabilitza la dinàmica d'intercanvi de sediment entre la platja i la duna (McLachlan & Defeo, 2018c; Pilkey et al., 2011).

Tornant al procés urbanitzador, la destrucció accelerada dels sistemes platja-duna té el seu origen en un planejament urbanístic que impulsava la ocupació del sòl a primera línia de mar. La primera Llei de costes de 1969 (BOE, 1969) promovia la construcció d'instal·lacions

marítimes i ports esportius en qualsevol tram de costa, al marge que fos ZMT i dels possibles impactes paisatgístics i ambientals, amb l'única finalitat de fomentar les activitats relacionades amb el turisme de sol i platja. La mateixa llei exclou les dunes del concepte de platja i dels béns de domini públic, i les relegava als drets i a l'ús vinculats a la propietat privada. Això implicava l'emplaçament d'àrees urbanes de baixa i alta densitat, càmpings, infraestructures de transport i passejos marítimes damunt les formacions dunars que eren titularitat d'agents privats. La posterior Llei de costes de 1988 (BOE, 1988) revertia aquesta situació i inclouïa totes les tipologies de dunes com a DPMT, posant així en titularitat pública totes les morfologies dunars. A més, totes les construccions que es trobessin damunt d'aquestes formacions també esdevien de titularitat pública després d'un període de concessió de 60 anys. En aquest moment, però, ja s'havien eliminat bona part dels sistemes dunars de la costa espanyola i abans que es pogués revertir la situació, la vigent Llei de costes de 2013 (BOE, 2013) en limitaria la recuperació. La legislació vigent en matèria de costes exclou les dunes estabilitzades del DPMT, a menys que l'evidència científica verifiqui que són fonamentals per l'equilibri de la platja i la defensa de la costa. Aquest marc normatiu també relegaria al règim de propietat privada algunes dunes mòbils que avancen terra endins, sempre que no es compromet l'estabilitat de la platja i la defensa de la costa. A part de les formacions dunars, aquesta nova llei promou l'ocupació del sol a la franja del litoral ja que en redueix la servitud de protecció dels 100 metres que contemplava la llei de 1988 a tan sols 20 en l'actualitat. Les modificacions de la llei de 2013 fa impracticable la regeneració dels sistemes platja-duna malmesos per la mala gestió dels anys previs el 1988, mantenint en titularitat privada molts espais ocupats per parcel·les urbanitzades que podrien reconvertir-se en dunes si seguíssim la normativa anterior.

El declivi dels ambients dunars, causat per la urbanització i la freqüentació d'usuaris, es veu agreujat per la regressió de la costa. La disminució de sorres que arriben al mar pels canals fluvials afecta moltes platges de Catalunya, i molt especialment les del delta de l'Ebre (Jiménez, 1996). Així mateix, la construcció de ports, espigons, marines o estructures de defensa de la costa es troben entre les principals causes d'alteració de la dinàmica costanera i d'erosió de les platges (Defeo et al., 2009; McLachlan & Defeo, 2018c; Nordstrom, 2000). Aquest fenomen afecta a moltes platges catalanes, amb especial incidència a les platges situades a sotacorrent dels ports de la Costa del Maresme i al sector de Sitges, Cunit, Cubelles i Cambrils (Pintó et al., 2018). Els sistemes de *by-pass* fixos minorarien els efectes de retenció sedimentària originat per les infraestructures (Valiela, 2006). L'elevat cost de construcció i manteniment, i la manca de legislació, situen aquesta solució en una mera possibilitat que encara no s'ha realitzat a cap port català. Els dragatges puntuals proposats al Pla de Ports de la Generalitat 2007 – 2015, són les úniques accions que atenuen els efectes de les infraestructures litorals. La construcció d'estructures artificials només s'ha fet palesa a l'anàlisi de canvi d'usos del sol quan els emplaçaments s'han situat damunt les antigues dunes. Destaca, en aquest sentit, el tram entre l'antiga desembocadura del Llobregat i l'actual boca del riu (Figura 106), on la desaparició dunar va culminar durant la primera dècada dels 2000 amb les obres d'ampliació del port i la desviació del tram final del riu cap al sud.

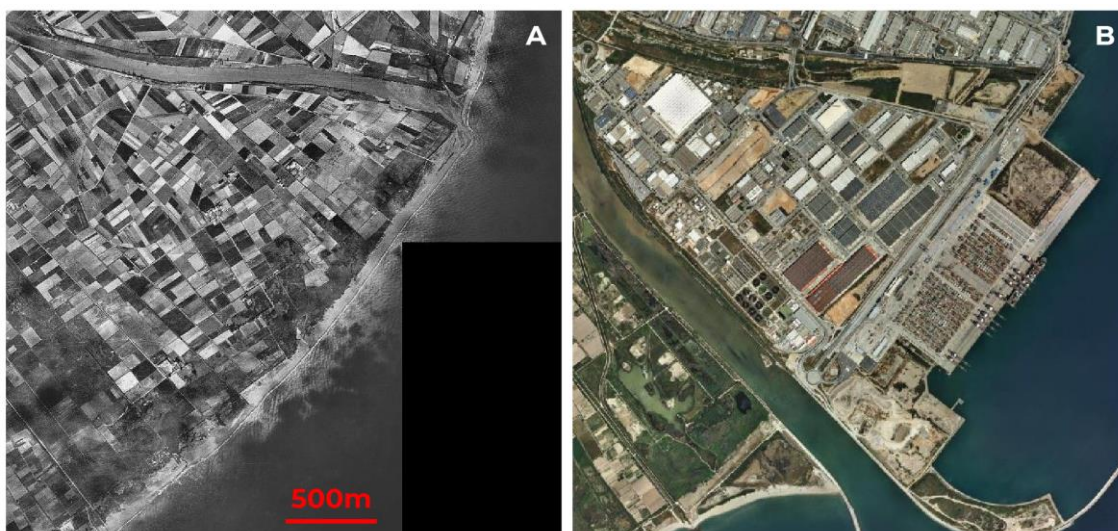


Figura 106. Desembocadura delta del Llobregat el 1956 (A) i actualment (B). Les obres d'ampliació del port i el desviament del tram final del riu Llobregat van destruir més de 2 km de sistemes platja-duna.

Font: ICGC (2018); Servicio Geográfico del Ejército i Army Map Service (1957)

A banda de la urbanització a primera línia de mar, l'erosió a les platges és un fenomen que s'ha fet palès al llarg de les darreres dècades. A Catalunya més del 70% de sistemes litorals sorrencs presenten una tendència regressiva (ICC, 2010). El retrocés de la costa compromet un dels principals actius econòmics de les zones turístiques, les platges. Per combatre-hi l'erosió arreu del litoral català s'ha generalitzat la regeneració artificial de les platges (Jiménez et al., 2011, 2017, 2005; Sanuy et al., 2018). Malgrat que aquesta pràctica suposa un increment de la disponibilitat de sediment, sovint les sorres utilitzades en aquest procés no són les més adequades per a la formació dunar. En ocasions aquestes materials al·lòctons contenen grans proporcions de llims i sorres més gruixudes i anguloses que les originals, el que en dificulta notablement el transport eòlic i la formació dunar. Aquesta podria ser la causa que actualment les dunes incipients al Maresme hi són escassament presents, i les poques que hi ha els costa notablement de prosperar. La flora de Pere Montserrat (1955) ha permès verificar que nombrosos sectors de platja alta, des de Blanes fins a Barcelona (Annex 7), albergaven morfologies incipients amb espècies pròpies d'ambients dunars. La Figura 64 il·lustra tan sols el que seria un exemple d'aquesta regió geogràfica on actualment les morfologies dunars han desaparegut quasi per complet, malgrat els esforços de gestió per a renaturalitzar el sistema platja-duna en molts trams de la costa maresmenca.

Origen de les dunes actuals

De les 201 platges que presentaven en el període 1890 - 1960, tan sols 79 en presenten avui dia (60 que han disminuït l'hàbitat dunar i 19 que han sofert canvis poc rellevants -Figura 107-). Les 48 platges que resten per assolir la xifra de les 127 (Figura 107) platges actuals corresponen majoritàriament a sistemes platja-duna que han recuperat les formacions dunars després d'un procés de destrucció de l'hàbitat dunar; i platges de nova formació fruit de l'alteració del transport longitudinal.

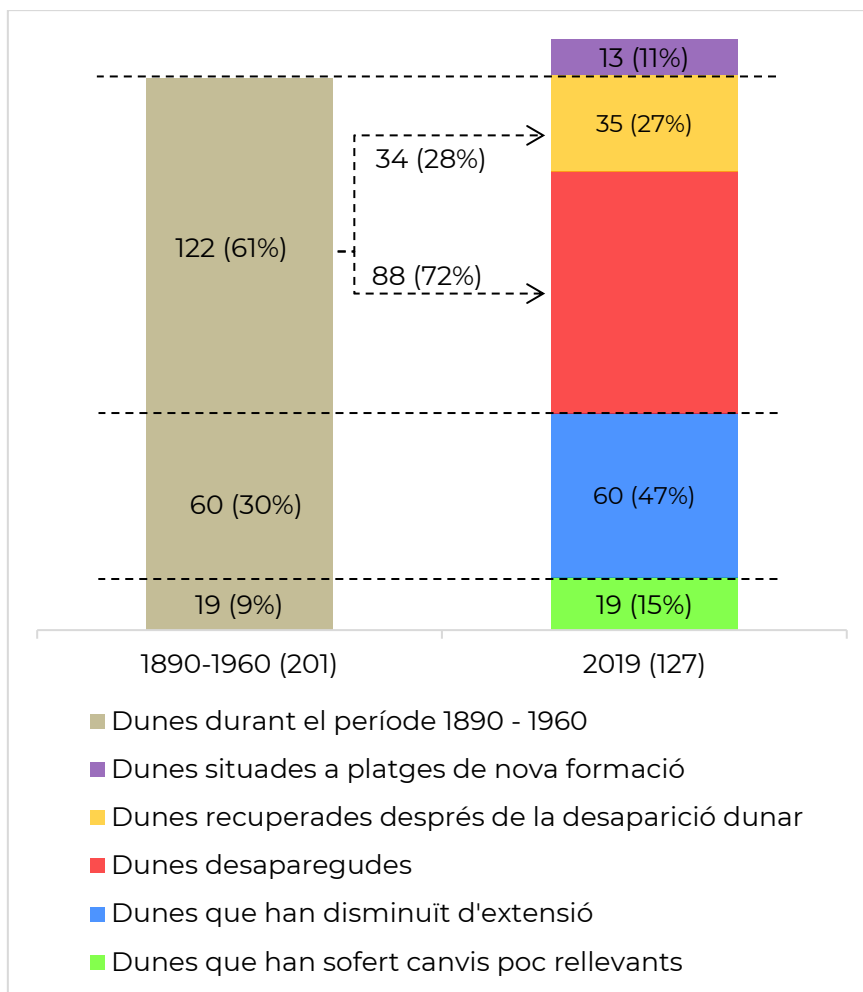


Figura 107. Evolució dels sistemes platja-duna a la costa catalana des del període 1890 – 1960 a l'actualitat (2019)

Els 35 casos de dunes recuperades després d'un procés de destrucció de l'hàbitat (Figura 107) s'han comptabilitzat com a desaparició dunar dins l'apartat de tipus de transformació paisatgística (malgrat presentar dunes embrionàries o cordons dunars de petites dimensions en la data de publicació d'aquest document). Això s'explica perquè la presència actual d'aquestes morfologies respon a una regeneració relativament recent (en tot cas, sempre posterior a la desaparició dunar).

La recuperació de l'espai dunar d'aquests sistemes pot ser conseqüència, o bé, d'una clara voluntat de regeneració de les morfologies dunars, o bé, del descuit dels conductors dels vehicles de neteja i anivellament mecànic que releguen un espai marginal de la platja. Tan si les formacions dunars són fruit d'una restauració intencionada, com si ho són per desídia dels operaris, hi ha tot un seguit de platges del litoral català que presenten sistemes dunars en platges on les dunes havien desaparegut. En són bons exemples algunes platges de la Costa del Maresme situades als municipis de Malgrat de Mar (Figura 102), Santa Susanna, Canet de Mar, Arenys de Mar, Sant Vicenç de Montalt, Mataró, Cabrera de Mar, Vilassar de Mar i Premià de Mar. La resta de casos es distribueixen pel litoral català i s'han detallat al camp "evolució" de la taula compilada a l'Annex 6.

Com a mostra gràfica d'aquest procés, s'ha pres el cas de la platja del Cavalló d'Arenys de Mar, formada a sobrecorrent del port d'Arenys, una infraestructura construïda entre el 1922 i el 1961. Les morfologies incipients que existien entre 1890 – 1960 van ser substituïdes per sorrals compactes i estèrils destinats a l'aparcament de vehicles durant la temporada

alta (Figura 108A). Aquesta situació es va perllongar fins que l'ajuntament d'Arenys de Mar va decidir acordonar un espai destinat a la renaturalització de la platja el 2010. Des de llavors, la manca de trepig i l'absència de circulació de maquinària pesada han afavorit la formació de dunes incipients (Figura 108B). Tan és així que en menys de 10 anys la platja del Cavalló ha desenvolupat monticles de dunes embrionàries colonitzats per espècies pròpies d'ambients dunars, com el jull de platja (*Elymus fractus*) o el lliri de mar (*Pancratium maritimum*).



Figura 108. Platja del Cavalló (Arenys de Mar, Barcelona) abans (A) i després (B) de la recuperació dunar. Aquest sistema platja-duna és un exemple de regeneració dunar fruit d'una operació destinada a naturalitzar la platja d'Arenys. En aquest cas particular, les dunes no han estat restaurades mitjançant trampes d'interferència eòlica, sinó que l'acordonament de l'espai hi ha evitat la freqüentació, fet que ha facilitat el desenvolupament morfològic de dunes incipients i la colonització d'espècies dunars com el jull de platja (*Elymus fractus*). La marca vermella de la fotografia A indica el punt exacte des d'on s'ha pres la fotografia B.

Data: A – tardor de 2009 (fotografia cedida per Josep Pintó); B – juny de 2019

Al marge de les dunes recuperades darrerament, la Figura 107 alerta d'un conjunt de casos corresponents a platges de nova formació. Les estructures artificials perpendiculars a la costa alteren l'acumulació de sediment i afavoreixen la creació de platges a sobrecorrent de la infraestructura. Les estructures paral·leles a la costa, en canvi, afavoreixen la formació de platges perpendiculars a la ribera de mar que s'uneixen als espigons a causa de la refracció de les onades. Aquestes platges han estat formades al llarg de les darreres dècades i són prou amples com per allotjar morfologies dunars avui dia. Aquest fenomen afecta un total de 13 sistemes platja-duna del litoral català (Annex 6) els quals durant el període 1890 – 1960 eren inexistents o molt més estrets del que ho són avui dia. La platja de Calafat és una mostra molt representativa de l'aparició de sorrals vinculats a la construcció de ports (vegeu la Figura 62 de l'apartat de Resultats i la Figura 109 d'aquesta secció). La

platja del Calafat es forma als anys noranta després que durant la dècada anterior s'hi emplaqués un port esportiu. Posteriorment s'emplacen dos espigons destinats a protegir i consolidar la nova platja en un litoral fins ara dominat per rocams (Figura 62). Les sorres fines del Calafat i la protecció de l'onatge per mitjà dels espigons, són elements clau en la formació dunar que en pocs anys ha arribat a assolir la condició de cordó dunar (Figura 109). Una altra zona afectada coincideix amb un dels sectors dunars més



Figura 109. Sistema platja-duna de Calafat (l'Ametlla de Mar). Aquesta platja és una de les 35 de nova aparició que s'han generat a sobrecorrent a partir de la construcció d'una infraestructura, en aquest cas el port de Calafat que tingué lloc entre els anys 1982 i 1987.

Data: maig de 2018

Altres exemples de platges de nova aparició es troben en el sector de platja entre Sitges i Roda de Barà, un dels sectors més modificats de la costa catalana a causa de la construcció d'espigons (Pintó et al., 2018). La Figura 35A (de l'apartat dedicat a l'àrea d'estudi) és una demostració de la transformació del litoral a la zona entre Vilanova de Geltrú i Cunit. La imatge recollida a la Figura 35B denota l'aparició de morfologies dunars vinculades a la implementació d'espigons perpendiculars a la costa.

6.2. Estat geomorfològic i ecològic de les dunes

Després de constatar la degradació dunar al llarg de les darreres dècades i verificar que les tipologies dunars catalanes presenten un estat de degradació generalitzat, s'ha volgut dissenyar una metodologia per estudiar en profunditat els sistemes platja-duna de forma individualitzada i concretar-ne el seu estat ecològic i morfològic. Els resultats obtinguts en aquest bloc de la tesi descriuen les platges de manera integrada, considerant els diferents factors que interaccionen en el sistema: les dunes (StaDun), la platja (BeaPot), la gestió (CoMan) i l'entorn immediat (SurLan). Els quatre índexs basats en llistes de control han servit per quantificar el desenvolupament dunar (StaDun) i relacionar-lo amb els altres elements de la platja i del seu entorn (Figura 110): potencial de la platja per a desenvolupar dunes (BeaPot), mesures de conservació i gestió al sistema platja-duna (CoMan) i el paisatge a l'entorn immediat de la platja (SurLan).

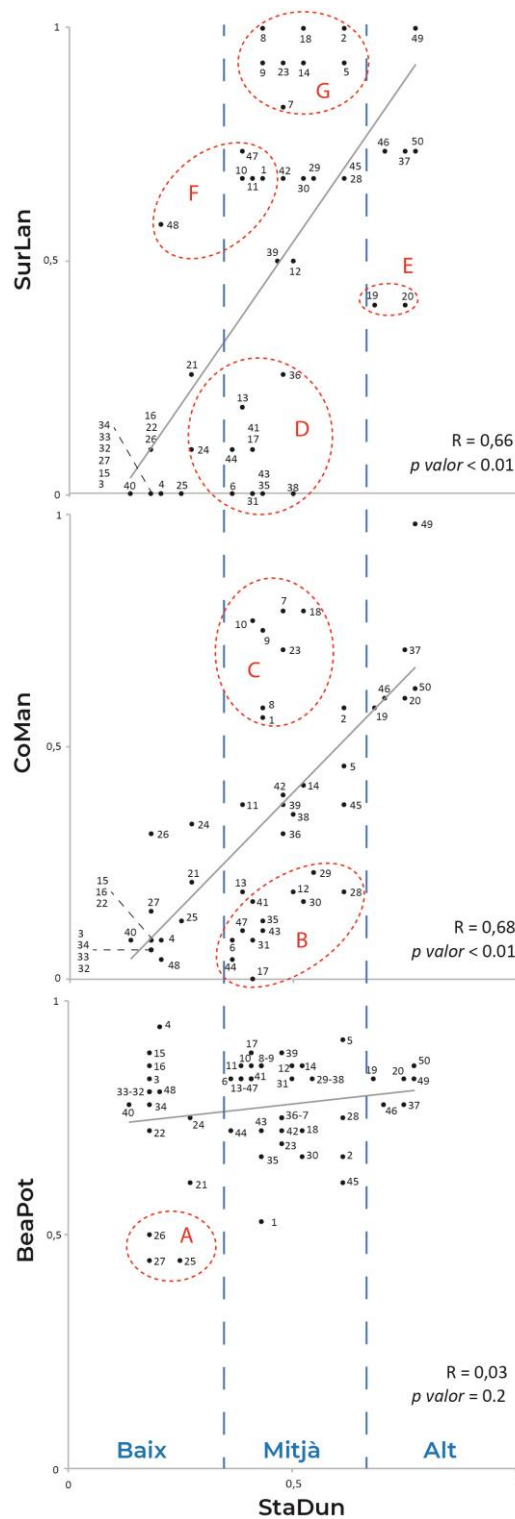


Figura 110. Relació entre el desenvolupament dunar (StaDun) i la resta d'indicadors del sistema platja-duna (BeaPot, CoMan i SurLan). En vermell s'agrupen els set grups estadístics identificats lluny de la línia de tendència (A – G).

La Figura 110 revela la mesura en què el desenvolupament dunar (StaDun) està relacionat amb la resta d'elements que interactuen en el sistema (BeaPot, CoMan i SurLan). En aquest sentit, sorprèn el fet que no hi ha relació entre StaDun i BeaPot ($R=0,03$, $p \text{ valor} = 0,2$). Tan sols en uns pocs casos es compleix que les dunes són poc desenvolupades perquè la platja

té poc potencial de desenvolupament dunar (Figura 110, grup A). Una de les tres platges que integren aquest grup s'ha reproduït a tall d'exemple de sistemes platja-duna amb dunes poc desenvolupades a causa de les característiques ambientals de la platja (Figura 111). Es tracta de la platja de Llevant (codi 27), situada al municipi de Premià de Mar (Barcelona).



Figura 111. Platja de Llevant (Premià de Mar, Barcelona). Les morfologies dunars presents en aquest tram de costa són d'escàs desenvolupament sobretot perquè les característiques de la platja no permeten la formació de grans cordons dunars ja que es tracta de platges estretes de vents suaus i poc alimentades per sediment.

Data: juliol de 2019

En canvi, els valors d'StaDun mostren més relació amb la gestió del sistema platja-duna o CoMan ($R=0.68$, p valor < 0.01), i amb la rigidesa de la platja i la pressió urbanística del seu entorn o SurLan ($R=0.66$, p valor < 0.01). Dit d'una altra manera:

- Les **dunes molt desenvolupades** es troben en platges poc urbanitzades on s'apliquen mesures de conservació i gestió. Per tant, les platges que alberguen dunes desenvolupades (Taula 15 i Figura 110) solen presentar valors alts de gestió (CoMan) i valors baixos d'urbanització (SurLan).

- En canvi, les **dunes poc desenvolupades** (Figura 110) es troben en platges urbanes amb valors molt baixos de CoMan.

- Finalment, **les platges amb valors mitjos de desenvolupament dunar** (Figura 110) presenten valors molt diversos de la resta d'indicadors: BeaPot, CoMan i SurLan. Tot i això, a continuació s'expliquen un seguit de casos que escapen de la tendència general (vegeu la Figura 47 de l'apartat de *Metodologia* per identificar els casos d'estudi que s'eludeixen al llarg d'aquest subapartat de la tesi):

A) Pel que fa l'**índex CoMan** destaca un grup de platges amb dunes mitjanament desenvolupades que hi són presents malgrat la manca de gestió del sistema platja-duna orientada a la conservació dunar (Figura 110, grup B). Un bon exemple d'aquest grup correspon a la platja de Berà (codi 35) on, malgrat la manca de gestió, hi resisteix un cordó dunar entre el passeig marítim i la platja. Consulteu la Figura 22 de l'apartat de *Marc Teòric* i la Figura 118C de l'apartat 6.3. *Restauració dunar* per a visualitzar-ne la mostra gràfica.

Per contra, a l'altra banda de la línia de tendència, trobem un grup de platges que, malgrat mostrar valors molt elevats de gestió (Figura 110, grup C), presenten dunes mitjanament desenvolupades. En aquest darrer cas, les dunes no poden assolir valors alts d'StaDun, o bé, a causa la proximitat del nivell freàtic a la platja alta i per habituals inundacions d'aquesta zona causades per la dinàmica fluvial o els temporals (Marqués, Julià, & Muntaner, 2011)

(platges 7, 8, 9, 10, 18), o bé, perquè es tracta de platges naturals encaixades amb poc espai i poc sediment fi, condicions necessàries per al desenvolupament dunar (casos 1, 23). La Figura 112 il·lustra les dues casuístiques esmentades en aquest punt: la platja de Can Martinet (codi 8) i la platja del Castell (codi 23).



Figura 112. A- Platja de Can Martinet (St. Pere Pescador, Girona). Les constants inundacions a la platja alta dificulten el desenvolupament dunar malgrat que les accions de gestió s'orientin a la recuperació dunar mitjançant l'ús de trampes d'interferència eòlica o l'acordonament de l'espai; B – Platja de Castell (Palamós, Girona) on el desenvolupament dunar també es veu limitat per les característiques geoambientals: platja encaixada, de vents suaus i gra mitjà.

Data: maig de 2019 (A) i abril de 2018 (B)

B) Respecte l'índex **SurLan** hi ha casos que, a pesar de tenir entorns rígids i molt urbanitzats, presenten valors mitjans de desenvolupament dunar (Figura 110, grup D): es tracta, o bé, de sistemes platja-duna on els gestors reserven un espai per a la restauració dunar (casos 6, 38), o bé, de morfologies dunars romanents (platges 13, 17, 31, 35, 36, 41, 43, 44) que són testimonis d'antics sistemes dunars de grans dimensions en passat (García-Lozano, Pintó, & Daunís-i-Estadella, 2018). Per aquest grup, consulteu la Figura 22 de l'apartat de *Marc Teòric* on s'il·lustra una mostra que correspon a la platja de Berà (codi 35) on hi resisteix un cordó dunar entre el passeig marítim i la platja; així com també podeu consultar el cas de la platja de la Paella (codi 38) on s'ha reservat un espai per a la presència dunar (Figura 48D).

Excepcionalment, destaquen dos casos de platges semi-urbanitzades que presenten morfologies dunars molt desenvolupades (Figura 110, grup E): es tracta de la Fonollera (19) i Pals (20), sistemes platja-duna molt amples, semi-naturals i inclosos dins del Parc Natural del Baix Ter, les Illes Medes i el Montgrí que es van urbanitzar damunt la zona de

maresmes, respectant molt bona part de la franja de duna semi-estabilitzada. llarg del manuscrit hi ha una mostra representativa d'aquestes platges que el lector pot consultar a la Figura 1, la Figura 16 i la Figura 54.

A l'altra banda de la línia de tendència, trobem casos de dunes poc desenvolupades (Figura 110, grup G) que presenten valors mitjos-baixos d'urbanització i poca rigidesa del sistema platja-duna (SurLan). Les platges del grup G allotgen dunes mitjanament desenvolupades en ambients naturals. En aquests casos, les característiques de la platja no permeten el desenvolupament dunar de forma natural a causa de la proximitat del nivell freàtic i les freqüents inundacions (Marqués & Julià, 1988). En alguns casos, el desenvolupament dunar és baix perquè es tracta de platges naturals encaixades i estretes amb poca proporció de sediments fins. Repreneu les il·lustracions de la Figura 112, on es visualitzen la platja de Can Martinet i del Castell, com a mostra representativa de platges que no permeten el desenvolupament dunar al marge de la pressió antròpica de l'entorn de la platja i de la rigidesa del sistema (SurLan).

Finalment, les platges del grup F (Figura 110) comprenen dunes amb desenvolupament baix i mitjà i valors mitjos de SurLan. Es tracta de platges urbanitzades en trams de costa baixa (casos 10 i 11) o rígides situades en trams de costa alta (platges 1, 47 i 48). Remeteu-vos a la Figura 48C per consultar el cas de Garbet (codi 1) o vegeu a continuació l'exemple de la cala Forn (Figura 113).



Figura 113. Cala Forn, codi 48 (l'Ametlla de Mar, Tarragona). L'entorn rocós de la platja i la urbanització situada just darrera la pineda fan que augmenti la rigidesa del sistema platja-duna i, per tant, que presenti valors baixos de SurLan.

Data: abril de 2018

L'anàlisi de correlació entre els diferents factors que interaccionen en el sistema platja-duna constata que els principals agents que pertorben i amenacen els sistemes sorrencs costaners són els derivats de les activitats humanes. Molts altres estudis apunten a la mateixa direcció pel que fa la degradació o desaparició dels paisatges dunar (Alonso et al., 2002; Brown & McLachlan, 2002; Carter & Woodroffe, 1994; Curr et al., 2000; de Luca et al., 2011; Defeo et al., 2009; Fabbri, 1990; Gómez-Pina et al., 2002; Hernández-Cordero et al., 2018; Heslenfeld et al., 2004; Martínez & Psuty, 2004; McLachlan & Defeo, 2018c; Nordstrom, 1994, 2000; Pilkey et al., 2011; Roig-Munar et al., 2018; Sytnik & Stecchi, 2014; Williams et al., 2011, 2012). La degradació i desaparició de morfologies dunars amenacen seriosament els hàbitats dunars (Defeo et al., 2009; del Vecchio et al., 2016; Janssen et al., 2016) fins el punt que la típica successió de comunitats vegetals està exclusivament present en una ínfima proporció de sistemes dunars mediterranis (Acosta et al., 2007).

6.3. Restauració dunar

Davant l'evident degradació de l'hàbitat dunar, s'ha dissenyat un paquet d'indicadors que permeten esbrinar quines de les platges on han desaparegut o disminuït la superfície dunar es poden recuperar o regenerar. Dit d'una altra manera, quines de les dunes marcades en vermell a la Figura 107 és poden recuperar? I quines de les marcades en blau es poden regenerar? Les dunes marcades en vermell són les dunes desaparegudes, mentre que les blaves indiquen disminució de l'hàbitat dunar. Els resultats de l'índex compost elaborat a partir de dos subíndexs (BeaPot i CoMan) permet quantificar el potencial de restauració dunar i determinar les mesures de gestió més adequades en cada cas.

La gestió i planificació dels sistemes dunars a les costes urbanitzades és un element clau en la conservació i el desenvolupament de les morfologies dunars. En el cas del litoral català, hi ha una clara correlació ($R = 0.68$) entre les mesures de conservació i gestió i l'estat actual de les dunes (StaDun VS CoMan, Figura 110). Les formacions dunars més desenvolupades ecològica i morfològicament se situen en els espais més ben gestionats; mentre que les platges on s'han registrat valors baixos de gestió (CoMan) presenten un desenvolupament dunar molt limitat (Figura 110). A diferència de l'índex de gestió dunar (CoMan), el potencial de desenvolupament dunar de les platges (BeaPot) no presenta correlació amb l'estat de desenvolupament morfològic i ecològic del sistema dunar (StaDun) ($R = 0.03$). Contràriament al que es podria esperar, les característiques ambientals de les platges catalanes (BeaPot) no determinen l'estat ecològic i morfològic de les formacions dunars, mentre sí que ho fa la gestió dels sistemes platja-duna.

Les platges amb més potencial per a la restauració dunar (que presenten valors alts de BeaPot i valors baixos de CoMan) són també espais vulnerables a causa de la pressió antròpica a la que estan sotmesos i l'alta rigidesa del sistema (valors alts de SurLan -Taula 18 i Figura 114-). Contràriament, les platges amb poc potencial de restauració dunar (amb valors baixos de BeaPot o alts de CoMan) tenen poca pressió antròpica i poca rigidesa (valors alts de SurLan -Taula 18 i Figura 114-).

Com a resultat de l'anàlisi de clústers dels 50 casos estudiats s'han establert sis grups que s'han representat a la Figura 114 i s'han descrit sintèticament a la Taula 18.

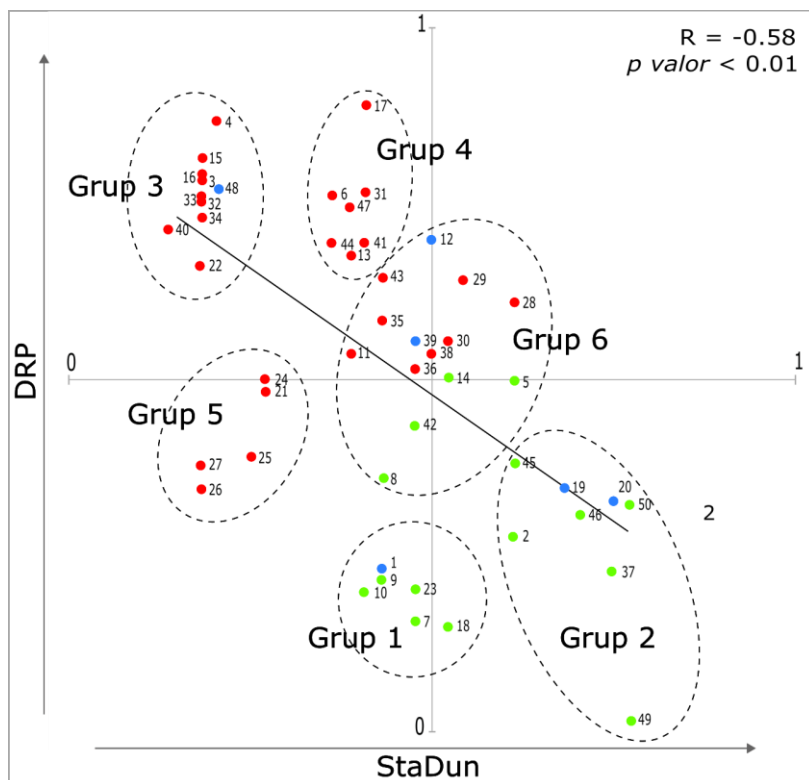


Figura 114. Correlació entre el DRP i el DVR. En línies discontinües s'agrupen les diferents platges segons els grups obtinguts en l'anàlisi de clústers. El color dels punts indica el valor obtingut de l'índex SurLan segons si és alt (●), mitjà (●) o baix (●).

Taula 18. Objectius de gestió segons els valors obtinguts als índex DRP i StaDun. Els grups corresponen a la classificació resultant de l'anàlisi de clústers. Addicionalment es proporcionen les dades obtingudes de l'índex SurLan i el nombre de casos de cada categoria.

Objectiu	DRP	StaDun	Grups	SurLan	Núm. casos
Conservació	Baix	Mitjà	Grup 1	Alt	6
	Baix	Alt	Grup 2	Alt	8
Restauració	Alt	Mitjà	Grup 4	Baix	10
	Mitjà	Mitjà	Grup 6	Baix	7
Recuperació	Alt	Baix	Grup 3	Baix	5
Renaturalització	Mitjà	Baix	Grup 5	Mitjà	14

Els resultats obtinguts s'assemblen als presentats per Lithgow et al. (2014) que estableixen tres accions mitjançant l'índex ReDune: conservació, restauració i rehabilitació dunar. En canvi, en aquest treball l'agrupació de platges mitjançant l'anàlisi de clústers (Figura 72 i Figura 114) ha determinat 4 accions o mesures que s'han d'implementar: conservació, restauració, recuperació, i renaturalització de la platja alta. Els sistemes platja-duna que s'han de conservar presenten valors baixos de DRP i mitjans o alts d'StaDun; les platges on s'ha de restaurar dunes presenten valors alts o mitjans de DRP i mitjans d'StaDun; les platges on es poden recuperar dunes presenten valors alts de DRP i baixos d'StaDun; mentre que les platges on només es pot aspirar a un entorn naturalitzat amb formacions dunars embrionàries són aquelles que presenten valors mitjans de DRP i baixos d'StaDun.

6.3.1. Conservació dunar: grup 1 i grup 2

Els 14 sistemes platja-duna que integren aquesta categoria es troben en zones naturals i presenten un bon estat de conservació dunar i un potencial de restauració dunar baix (Taula 18 i Figura 114). La major part de platges d'aquest grup corresponen a dunes que han disminuït d'extensió vers la primera meitat de segle passat (Taula 15), a excepció de tres casos que han sofert canvis poc significatius. Aquest darrer cas es tracta de la cala Borró, els Muntanyans i la cala Justell (codis 2, 37 i 46, respectivament). Malgrat que les platges han disminuït d'extensió, l'àrea que ocupen actualment ha pogut conservar-se amb èxit.

En aquest conjunt de platges es diferencien dos perfils de platja: les platges del Grup 1, que per les seves característiques geoambientals no els seria possible millorar el seu desenvolupament dunar mitjançant mesures de gestió (platges encaixades o platges sotmeses a constants inundacions); i les platges del Grup 2, que presenten dunes molt desenvolupades l'estat de les quals no es pot millorar perquè ja presenten un estat òptim de conservació dunar.

Grup 1: platges naturals amb DRP baix i StaDun mitjà

Es tracta de platges amb dunes mitjanament desenvolupades que per les seves característiques geoambientals no els seria possible millorar-ne el desenvolupament dunar mitjançant mesures de gestió. Dins el grup 1 es distingeixen clarament dos tipologies de sistemes platja duna: platges sotmeses a constants inundacions i platges encaixades.

En primer lloc, s'ha identificat un conjunt de sistemes localitzats en platges llargues i rectilínies de costes baixes (casos 7, 9, 10 i 18) situades prop de desembocadures fluvials. Aquests sistemes estan sotmeses a inundacions les habituals causades per la dinàmica fluvial o els temporals (Marqués, Julià, & Muntaner, 2011). La proximitat del nivell freàtic a la platja alta obstaculitza el drenatge de l'aigua estancada i dificulta la millora de l'estat ecològic i morfològic dunar mitjançant la gestió. Els intents de restauració dunar mitjançant les mesures de gestió laxes que es proposen en aquest treball (implementació de panells informatius, acordonament, instal·lació de trampes de sorra, gestió del flux de visitants, restringir la neteja mecànica al front de la *foredune* o revegetació) resultarien insuficients per a la creació de cordons dunars de certa entitat.

La Figura 115 exemplifica els resultats limitats que han tingut les pantalles d'interferència eòlica a la platja de can Nera i can Sopa. Aquests sistemes s'ubiquen a la platja de St. Pere Pescador, al sud del golf de Roses (Figura 29), un gran arc litoral que on es desenvolupen *barkhanes* transversals a la platja en el seu extrem sud. Les *barkhanes* de l'Alt Empordà passen per cicles anuals de tres fases que comprenen des de la seva destrucció a la seva reactivació (Marqués & Julià, 1988). En un primer estadi les llevantades canalitzen l'aigua de mar a través de les depressions transversals que formen les *barkhanes* fins a inundar la platja alta i aplanar-ne les dunes mòbils. La Figura 78 és una reproducció d'una fotografia de primera meitat de segle XX que permet identificar la formació de les *barkhanes* i de les depressions que es formen entre elles. En finalitzar el període de llevantades, la platja empen novament la fase de reactivació de sediments i formació dunar. És en aquest segon estadi on tenen lloc la formació de *barkhanes* incipients paral·leles a la costa per acció de la forta tramuntana. Finalment, en una tercera fase, s'assoleix el màxim desenvolupament de les *barkhanes* que es s'orienten de nord a sud, seguint la direcció dels vents dominants. En aquest context de temporals de llevant i de ventades, el desenvolupament dunar es veu limitat a un modest cordó dunar que s'inunda parcialment quan predomina el vent de l'oest.



Figura 115. El sector entre can Nera i can Sopa, codis 9 i 10 (St Pere Pescador, Girona), es veu afectat per constants inundacions a la platja alta que dificulten el desenvolupament dunar. Les trampes de sorra ubicades en aquestes platges han tingut un efecte limitat al trobar-se en una zona molt humida a causa de la dinàmica fluvial i dels temporals.

Data: maig de 2019

Altres experiències revelen que la restauració dunar mitjançant mesures laxes (les 12 variables del bloc CoMan) en entorns similars han donat bons resultats en el guany de volum sedimentari més que en el desenvolupament de morfologia dunar (Roig-Munar et al., 2019; Roig-Munar et al., 2017). El cas de la restauració del sistema dunar de la Pletera (codi 18) mitjançant trampes d'interferència eòlica, acordonament, restricció de la neteja mecànica i revegetació seguint criteris morfològics, ha permès un guany volumètric de més de 150.000 m³ i un augment de cota de gairebé 3 metres des de 2010 a l'actualitat (Roig-Munar et al., 2019). En canvi, les morfologies dunars predominants són encara dunes incipients situades entre el cordó dunar i l'acordonament.



Figura 116. La platja de la Pletera (Torroella de Montgrí, Girona) actualment presenta un perfil del sistema platja-duna amb pendent, mentre que a inicis de la restauració (2010) el perfil que presentava estava marcat per una depressió a l'extrem interior de la platja. Sense les successives implementacions de trampes de sorra el guany sedimentari no hagués estat possible.

Data: setembre de 2019

En segon lloc, les platges de Garbet i Castell (codis 1 i 23, respectivament) són sistemes litorals sorrenca encaixats i comptem amb una amplada insuficient per al desenvolupament dunar destacat. A més, aquests sistemes comptem amb còdols i sorres gruixudes i no estan orientats perpendicularment respecte els vents dominants, el que dificulta encara més la formació dunar. Tot i això, són platges on la conservació dunar ha estat una prioritat i l'acordonament i la gestió del flux de visitants a través de les dunes ha conservat un sector de dunes incipients a la platja alta. Per tal d'evitar-ne la degradació es proposa la continuïtat de les mesures de gestió orientades al manteniment d'aquests espais. Com a exemple d'aquest grup, vegeu la Figura 48C i la Figura 112B que reproduïxen les platges de Garbet i del Castell.

Grup 2: platges naturals amb DRP baix i StaDun alt

Les 8 platges que integren aquest grup presenten valors alts en l'índex StaDun i baixos en l'índex DRP. Es troben en entorns naturals i poc rígids ($SurLan < 0.33$) i les mesures de gestió han d'anar enfocades a la conservació de l'hàbitat i les morfologies dunars. La platja dels Muntanyans (codi 37) és un exemple representatiu d'aquesta categoria (Figura 117). Tanmateix, la Figura 73 revela que la platja dels Muntanyans pertany a les *foredune* compreses dins l'estadi 1 segons la classificació establerta per Hesp (2002).



Figura 117. La platja dels Muntanyans (Torredembarra, Tarragona) -codi 37- és un exemple de sistema platja-duna ben preservat on les mesures de gestió estan enfocades a la conservació dunar. L'espai ocupat per les dunes està íntegrament acordonat i l'accés cap a la platja s'ha de fer per mitjà de passarel·les aèries. La neteja mecànica exclou els primers metres respecte l'espai acordonat fet que facilita la formació de dunes incipients.

Data: estiu de 2018

Les platges d'aquest grup són molt extenses i per aquest motiu no es descarta que el sistema dunar estigui parcialment degradat en espais puntuals. La platja de Pals i de la Fonollera són bons exemples d'aquestes circumstàncies ja que consten de grans superfícies dunars que estan parcialment degradats allà on l'afluència de gent hi és més abundant. Per tal de determinar amb claredat quins sectors de platja cal conservar tal i com estan i quins cal restaurar, caldria aplicar el conjunt d'indicadors proposats en aquesta tesi per trams o sectors i determinar així quines mesures caldria aplicar en cada cas.

6.3.2. Restauració dunar: grup 4 i grup 6

Les 21 platges que integren aquest grup es troben en àrees urbanitzades o molt a prop d'aquestes i compten amb morfologies dunars relictuals: fragmentades, aïllades entre si i notablement degradades.

Per tal de recuperar la integritat del sistema platja-duna i millorar l'estat del sistema dunar, en aquest conjunt de platges s'aconsella la restauració dunar. Calen doncs mesures de gestió orientades a la millora de les morfologies dunars ja existents com les proposades per a calcular l'índex CoMan: restricció del pas a la totalitat de l'àrea dunar, implementació de panells informatius i passarel·les gestionades, retirada dels serveis i equipaments damunt o prop de les dunes, excloure la part frontal de la *foredune* de la neteja mecànica o eradicar les espècies invasores.

La majoria de platges d'aquesta categoria són platges que han disminuït d'extensió vers el període 1890 - 1960; però també s'inclouen tres platges que han sofert desaparició de l'hàbitat dunar (Empuriabrava, l'Estartit i Tamarit), malgrat que posteriorment a la destrucció de l'hàbitat les morfologies dunars han estat parcialment regenerades. Per últim, sobta la presència en aquest grup de platges que no han sofert canvis en l'extensió dunar, es tracta de la platja de la Rovina, del Riuet i de l'Estany Gelat (codis 5, 14 i 42). Malgrat que no han sofert disminució de la superfície dunar, aquestes morfologies s'han vist afectades per la creació de corriols i passeres espontànies, així com la introducció d'espècies invasores que en poden haver degradat substancialment l'estat ecològic i morfològic.

El conjunt de platges òptimes per a la restauració dunar està format per dos grups resultants de l'anàlisi de clústers: el grup 4, dunes molt degradades amb un potencial de restauració dunar alt, i el grup 6, platges amb dunes més desenvolupades i, per tant, amb menys marge de restauració dunar. A continuació se'n detallen els aspectes més significatius.

Grup 4: platges urbanes amb DRP alt i StaDun mitjà

Es tracta de platges urbanes molt turístiques sense dunes o amb dunes poc desenvolupades rehabilitades recentment a través de petites àrees acordonades prop del passeig marítim. Les característiques de la platja són molt òptimes per al desenvolupament dunar (valors molt alts de BeaPot) si s'hi apliquen mesures de gestió orientades a la recuperació dunar (accions orientades a augmentar els valors de gestió inclosos a CoMan). Les funcions naturals, recreatives i de protecció d'aquests sistemes (Nordstrom, 2008; Pilkey et al., 2011; Sardá et al., 2013) es podrien conjugar a fi que les platges alberguin un cordó dunar de petites dimensions adossat al passeig marítim o a la franja urbana, com ja presenten moltes platges de costes urbanitzades (Nordstrom, 2008, 2013).

Les dunes que presenten aquestes platges estan altament degradades per la manca de gestió del sistema platja-duna, sobretot alhora de gestionar el flux de gent en temporada alta que pot desplaçar-se lliurement des de l'aparcament fins la platja a través de les dunes. En aquest cas, es podria assolir un cordó dunar de notables dimensions seguit per un espai de rereduna més o menys extens segons les característiques de cada indret. Són bons exemples d'aquest grup les platges d'Empuriabrava i de St. Jordi d'Alfama representades a la Figura 118, les quals presenten morfologies relictuals però podrien albergar cordons dunars de notables dimensions si les mesures de gestió s'enfoquen en aquesta línia.



Figura 118. Exemples de platges que formen el grup de "restauració dunar" (grup 4 i 6): A – platja d'Empuriabrava (Castelló d'Empúries, Girona) -codi 6-; B – Platja de St Jordi d'Alfama (l'Ametlla de Mar, Tarragona) - 47-; C – Platja de Berà (Tarragona) -35-; D – Platja de Gavà nord (Barcelona) -30-

Data: estiu de 2018

Grup 6: platges urbanes o urbanitzades amb DRP mitjà i StaDun mitjà

Les 14 platges d'aquest grup presenten principalment dos perfils de platja:

A) Platges amb un cordó dunar o dunes incipients adossades a l'espai urbanitzat i molt degradades per la pressió antròpica. La degradació d'aquests sistemes es deu a la manca d'acordonament de l'espai alt de la platja, la manca de regulació del flux d'usuaris i l'aplanament indiscriminat amb maquinària pesada. Aquestes platges poden aspirar a mantenir el cordó dunar que ja presenten (o recuperar-lo en el cas de dunes incipients) i millorar-ne l'estat general, tant des d'un punt de vista geomorfològic com ecològic. La platja de Berà (Figura 118C) n'és un bon exemple.

B) Aquest grup de platges es troben en ambients relativament poc urbanitzats ($SurLan > 0.33$) i presenten dunes ben desenvolupades: un cordó dunar ben format i un espai de dunes semi-fixades o rereduna (Figura 118D). Tot i això, l'espai dunar està molt fragmentat per la freqüentació antròpica i sovint es localitzen espècies invasores que alteren la composició vegetal del que hauria de ser un ambient propi de platja-duna. Aquestes platges presenten les característiques idònies per restaurar-hi dunes amb pocs esforços i obtenir uns resultats satisfactoris a curt termini, tant des del punt de vista morfològic com ecològic.

6.3.3. Recuperació dunar: grup 3

Es tracta de platges urbanes que actualment no presenten morfologies dunars o bé compten amb formacions dunars molt degradades, vinculades a una mala gestió del

sistema platja-duna. Les platges que integren aquest grup són, en la seva totalitat, platges urbanes destinades a satisfer els usos i funcions turístiques i recreatives associades a aquests ambients. Aquests sistemes platja-duna han sofert una destrucció de l'hàbitat dunar en relació al període 1890 - 1960, malgrat que puntualment s'han dut a terme accions de recuperació incipient de les morfologies dunars. Les característiques ambientals i geològiques de la platja (BeaPot) són molt favorables al desenvolupament dunar, motiu pel qual mostren un potencial de restauració dunar alt. Per això, convé dedicar esforços a la recuperació dunar, començant per la rehabilitació d'un espai dunar incipient, i acabant pel posterior desenvolupament de cordons dunars. A diferència del grup anterior, on es precisen accions de millora dels sistemes preexistents, el conjunt de sistemes platja-duna pertanyents al grup 3 requereixen la recuperació dunar des d'un estat molt degradat o inexistent de les morfologies.

A tall il·lustratiu s'ha incorporat l'exemple de la platja de la Móra on la gestió està eminentment enfocada al usos turístics i recreatius i només alberga un petit sector acordonat on les morfologies dunars no disposen d'espai suficient com per desenvolupar-s'hi adequadament. Aquest model de platges no poden comptar amb grans extensions de dunes, però sí poden albergar un cordó dunar de modestes dimensions que separi la platja de les estructures urbanes.



Figura 119. La platja de la Móra (Tarragona) presentava morfologies dunars molt desenvolupades a primera meitat de segle passat que han estat substituïdes majoritàriament per elements urbanístics, com el passeig marítim o els habitatges situats a primera línia de mar. Tot i això, actualment la platja presenta una amplada i unes característiques ambientals suficients com per albergar dunes a l'extrem interior.

Data: maig de 2018

Preneu també com a exemple la platja dels Riells que actualment no presenta cap tipus de morfologia dunar, però que presenta unes condicions ideals per a reubicar-hi formacions dunars (Figura 49). O també la cala Forn que, en menor mesura, podria albergar morfologies dunars ja que disposa d'espai suficient com per a implementar-hi un acordonament a tot el contorn de la platja (Figura 113).

6.3.4. Renaturalització de la platja alta: grup 5

Aquest grup, compost per cinc casos, és el més minoritari i està integrat per platges sense dunes o amb dunes incipients. Les platges d'aquest grup presenten valors de DRP baixos, motiu pel qual només poden albergar petites dunes incipients a la platja alta. Les característiques ambientals i geomorfològiques de la platja (BeaPot) no permetrien el

desenvolupament dunar malgrat que s'hi apliquin mesures de gestió (CoMan) orientades a aquesta finalitat.

Les platges del Maresme són bons exemples de platges on només es pot aspirar a tenir un espai acordonat a la platja alta que albergui vegetació dunar i morfologies dunars embrionàries. La platja de la Pomereda (Figura 120) i la platja de Llevant (Figura 111) posen de manifest aquesta casuística. Preneu també el cas de la platja del Cavalló (Figura 108), exposat anteriorment a l'apartat d'*Origen de les dunes actuals*, on es relata la renaturalització d'un sector de platja a Arenys de Mar.



Figura 120. Platja de la Pomereda (Malgrat de Mar, Barcelona) -codi 25-. La platja alta està acordonat des de fa anys i només s'hi ha aconseguit desenvolupar formacions dunars embrionàries a causa del gra gruixut de la platja i dels vents poc abundants.

Data: tardor de 2014 (fotografia cedida per Josep Pintó)

6.3.5. Potencialitats i limitacions dels indicadors dissenyats

Per finalitzar aquest bloc de caire suggestiu, on es proposa un conjunt d'indicador que permeten avaluar i prendre decisions directament relacionades amb la gestió de la platja, es planteja un apartat que posa de manifest les fortaleses i debilitats identificades en el mètode emprat.

Aplicació dels índexs com a eina de gestió

Els indicadors presentats en aquesta tesi s'adeqüen amb la definició establerta per Bernard (2002) que defineix *indicador ecològic* com una dada científica que pot ser utilitzada per a avaluar l'estat ecològic i les tendències sobre la salut dels ecosistemes i els seus components. Així mateix, el National Research Council (2000) va considerar que els indicadors ecològics són indispensables per a examinar i efectuar un seguiment de l'estat integrals dels ecosistemes. A més, el mateix estudi assenyalava que els indicadors han de complir tres aspectes clau: quantificar informació, simplificar aspectes sobre fenòmens complexos per a millorar-ne el coneixement, i realitzar un seguiment dels processos ambientals.

Es presenta una eina de gestió aplicable pels tècnics amb coneixements bàsics de sistemes litorals sorrencs amb l'objectiu d'avaluar els sistemes platja-duna i determinar-ne el potencial de restauració. A més a més, la metodologia presentada resulta ser una tècnica útil per a comparar sistemes litorals sorrencs de diferents escenaris geogràfics que presenten unes característiques socio-ambientals similars. Aquesta eina és també aplicable en àrees amb diferents trets físics i humans que el presentat en aquest treball sempre i quan s'adaptin les variables i els valors atorgats a cada realitat geogràfica.

La informació necessària per a emprar aquests indicadors s'ha detallat minuciosament tant a la Taula 10 com a les taules addicionals de l'Annex 2, l'Annex 3, l'Annex 4 i l'Annex 5, on s'indica com s'ha de mesurar cada variable i les fonts d'informació necessàries per al seu càlcul. Un altre punt important sobre la utilització dels indicadors proposats és que, una vegada realitzat l'anàlisi de les 50 platges, s'ha constatat que els resultats són molt més acurats contra més petita és l'àrea estudiada. Dit en altres paraules, s'aconsella fragmentar les platges en diferents sectors per estudiar-los amb més detall i esbrinar-ne el potencial de restauració amb més veracitat. En el cas de les platges de la Fonollera, de Pals o la platja Llarga de Tarragona els resultats haurien estat més acurats si els sistemes s'haguessin estudiat per sectors. En canvi, el valor obtingut en cada cas ha estat representatiu del conjunt de la platja i no dels diferents segments que la integren, fet que en pot haver distorsionat la comprensió i l'anàlisi. Decididament, en futures aplicacions d'aquest índex cal fragmentar la platja segons les seves característiques per obtenir valors que s'ajustin a les necessitats de gestió que poden ser distintes segons el tram de platja.

Amb relació a l'aplicabilitat dels índexs presentats, els resultats obtinguts apunten que els sistemes platja-duna que s'han de conservar presenten valors baixos de DRP i mitjans o alts d'StaDun; les platges on s'ha de restaurar dunes presenten valors alts o mitjans de DRP i mitjans d'StaDun; les platges on es poden recuperar dunes presenten valors alts de DRP i baixos d'StaDun; mentre que les platges que només poden aspirar a albergar un entorn naturalitzat amb formacions dunars embrionàries són aquelles que presenten valors mitjans de DRP i baixos d'StaDun. Aquesta informació és fàcilment aplicable pels tècnics i gestors de platges ja que se n'ha realitzat una taula-resum que permet interpretar els resultats obtinguts (Taula 18).

Gràcies a l'aplicació d'aquests indicadors s'ha determinat quins sistemes dunars poden ser recuperats o restaurats, fet que ha permès afirmar que la restauració dunar al litoral català s'ha de dur a terme en costes humanitzades amb una alta freqüentació d'usuaris a les platges. La restauració dunar en costes antròpiques és una pràctica ja proposada i aplicada per altres autors en entorns urbanitzats (de Lillis et al., 2004; Huang & Yim, 2014; Jackson & Nordstrom, 2011; Martínez et al., 2013; Nordstrom, 2008; Nordstrom et al., 2000; Rozé & Lemauviel, 2004). És en aquest punt on convé subratllar que les mesures de gestió laxes proposades per Roig-Munar et al. (2009) han evidenciat tenir un efecte positiu en la regeneració i conservació dels sistemes dunars. Aquestes mesures de gestió inclouen acordonament d'àrees dunars, utilització de trampes de sorra, control i gestió del flux de visitants, i restricció de l'aplanament i neteja mecànica a la platja, entre d'altres. Les mesures concretes que es proposen en aquest treball per a la recuperació dunar i la millora de les morfologies ja existents queden recollides a les variables proposades per a analitzar CoMan. Es tractaria doncs d'actuar als sistemes platja-duna perquè presentin valors similars o el més propers a 4 possible dins de la llista de control de l'indicador CoMan.

En aquesta línia, cal ressaltar però, que no s'ha contemplat com possible acció de gestió el fet de desurbanitzar determinats sectors de costa per recuperar la integritat del sistema platja-duna i dur a terme accions de recuperació dunar. Els indicador plantejats en aquesta tesi contemplen, tan sols, les mesures laxes exposades dins la bateria de variables del bloc CoMan. Altres sectors del litoral català que s'han sotmès a actuacions de retirada d'espai urbanitzat i recuperació de zones natural han tingut un èxit notori. Recentment, la zona de la Pletera ha estat desurbanitzada mitjançant un projecte Life que n'ha permès la recuperació de maresmes i ha suposat el tancament d'accessos cap a la platja. Paral·lelament, es van aplicar tasques de gestió laxes a la platja (acordonament de la zona alta, entrada a la platja per mitjà d'accessos laterals, restricció de la neteja mecànica, instal·lació de tanques d'interferència eòlica i revegetació) que van suposar la millora integral del sistema dunar (Figura 121).

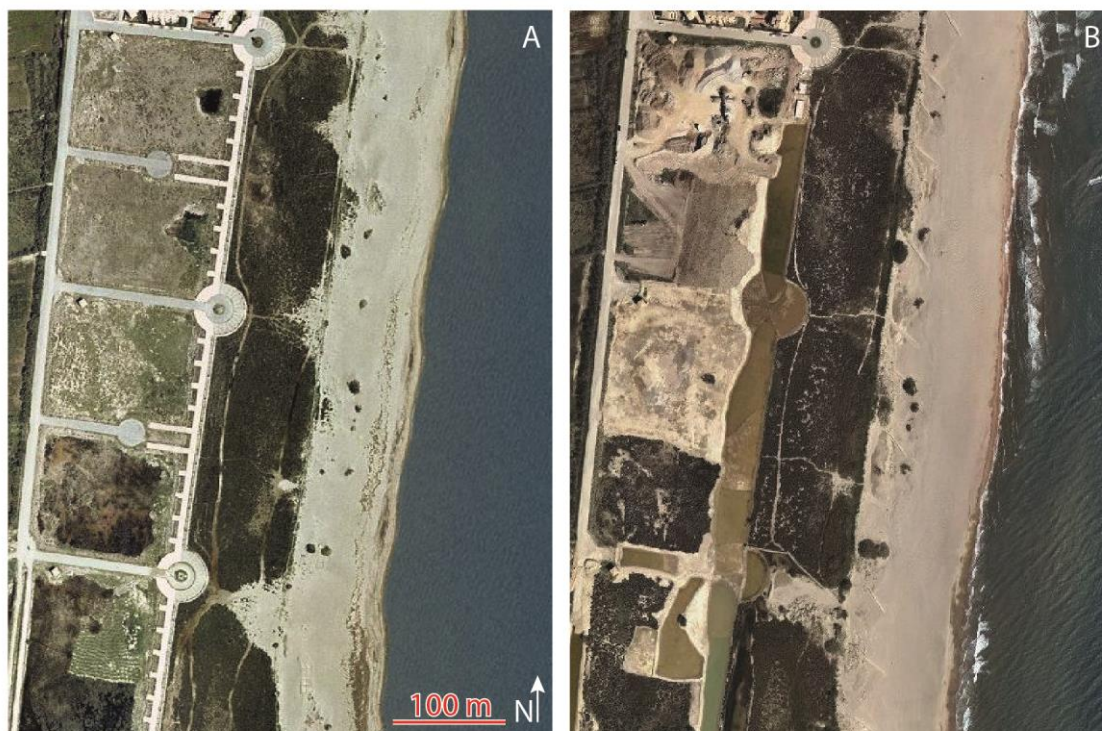


Figura 121. La Pletera (Torroella de Montgrí, Girona) el 2002 (A) i el 2018 (B) abans de les obres de desurbanització l'accés a la platja facilitava el trepig sobre el sistema dunar i creava greus problemes d'erosió. La regulació dels accessos, l'acordonament i la implementació d'abaliments han contribuït a la regeneració dels canals de deflació vinculats als accessos.

Font: ICGC (2002) i ICGC (2018)

Les costoses obres de desconstrucció han requerit una inversió ingent de capital que no està a l'abast de qualsevol ajuntament. Per aquest motiu, el desmantellament de la trama urbana no s'ha inclòs com a opció en el disseny dels indicadors. De fet, només s'han incorporat mesures laxes assequibles, fins i tot, pels municipis amb menys capacitat de despesa. Aquestes mesures proposades es poden exemplificar amb la Figura 28 i la Figura 46 que mostren diferents mesures de gestió enfocades a la conservació o recuperació dunar com la instal·lació d'espais acordonats o abalisats, la implementació de trampes de sorra, la gestió del flux de gent amb passarel·les gestionades o la revegetació del sistema dunar. És justament en aquest aspecte on aquest treball d'investigació presenta més febleses ja que s'apunta la importància de la restauració dunar, però no s'ofereix unes pautes concretes a implementar per a aconseguir-ho. Cada sistema dunar funciona de manera independent i cal un estudi exhaustiu de cada cas per a establir les accions de restauració dunar més idònies per a la recuperació del sistema. Malgrat que no existeix un manual d'instruccions per a la restauració dunar, sí que hi ha disponibles alguns materials que apunten les bones pràctiques en la regeneració de dunes (Gouguet, 2017; Ley et al., 2007; Nordstrom, 2008). En el context del litoral català, manquen assajos basats en experiències que provin els èxits i els fracassos en les tècniques i mesures de gestió dunar amb la intensió d'elaborar una guia amb possibles pautes de gestió.

Diferències i similituds en relació amb altres índex

Altres estudis utilitzen les mateixes variables que es proposen en aquest treball (Taula 10), però ho fan per a analitzar estrictament la vulnerabilitat i la fragilitat dels sistemes dunars costaners (Bodéré et al., 1994, 1991; Ciccarelli et al., 2017; Davies et al., 1995; García-Mora et al., 2001; Laranjeira et al., 1999; Peña-Alonso et al., 2017; Peña-Alonso et al., 2018; Williams

et al., 2001, 1994). En aquests treballs, la vulnerabilitat s'estudia a partir d'elements antròpics i físics que interactuen en el sistema, com serien l'amplada de la platja alta, la intensitat del vent i l'onatge, la freqüentació humana, l'accés a la platja a través de les dunes, o la restricció d'àrees dunars, entre d'altres. En la present tesi, en canvi, aquests aspectes ja queden recollits dins els indicadors BeaPot i CoMan, que s'utilitzen per mesurar el potencial de restauració dunar.

En base el que estableixen els treballs anteriors, els indicadors basats en llistes de control StaDun, BeaPot, CoMan i SurLan també són vàlids per analitzar la vulnerabilitat dunar. En el context que ens ocupa, la vulnerabilitat es defineix com el grau de susceptibilitat d'un sistema de dunes costaneres a experimentar canvis i degradacions irreversibles (Williams et al., 2001). Segons aquesta definició, els valors proper a 0 de la llista de control (Taula 10) són un indicador d'elevada vulnerabilitat, mentre que els propers a 4 n'indiquen poca. Si prenem aquesta premissa com a fonament teòric podem establir que a partir dels 4 índex definits també es pot calcular un índex de vulnerabilitat dunar (DV):

$$DV = \frac{(1 - StaDun) \cdot (1 - BeaPot) \cdot (1 - CoMan) \cdot (1 - SurLan)}{4}$$

Tot i el potencial de quantificar la vulnerabilitat del sistema platja-duna mitjançant els indicadors dissenyats, en aquest treball només es calcula el potencial de restauració dunar. S'obren, doncs, futures línies d'investigació que impliquin testar l'equació de vulnerabilitat dunar descrita anteriorment (DV), aplicar-la a diferents platges catalanes i classificar-les segons si són vulnerables o no.

Al marge de l'objectiu d'estudi, aquesta tesi presenta algunes variables de nova aportació respecte altres treballs que desenvolupen indicadors mitjançant la tècnica basada en les llistes de control (Peter Davies et al., 1995; García-Mora et al., 2001). Destaca en aquest sentit l'estat estructural de la *foredune* segons Hesp (2002) (StaDun - 7) que considera alguns aspectes com les àrees de deflació, la cobertura vegetal o l'escarpament dunar. Mentre els autors citats utilitzen les variables per separat, fent incrementar notablement el nombre de variables, en aquesta recerca s'ha considerat tan sols la variable StaDun - 7 que reuneix tots aquests aspectes.

Així mateix, la major part d'estudis de sistemes dunars costaners contempnen l'aportació sedimentària com un dels principals factors de vulnerabilitat del sistema. Decididament, el balanç sedimentari és un dels elements principals que equilibren el sistema platja-duna (Sherman & Bauer, 1993). En aquesta investigació, s'ha utilitzat l'evolució de la línia de platja durant el període 1995 - 2004 (BeaPot - 2) per estudiar-ne el balanç sedimentari, ja que no es disposaven de dades sobre la disponibilitat de sediment al litoral català.

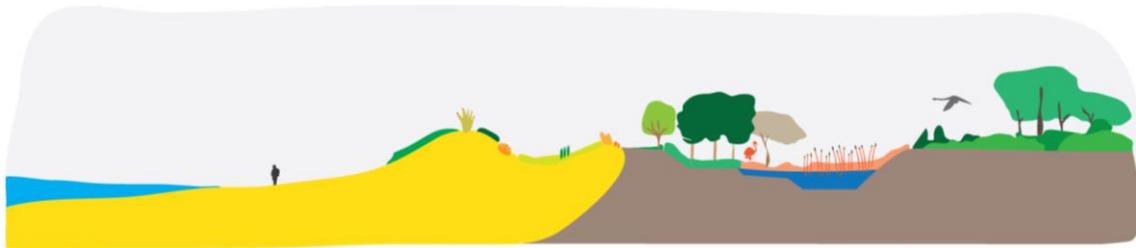
Finalment, BeaPot - 7 és una aportació d'aquest treball. Els treballs esmentats anteriorment (Bodéré et al., 1994, 1991; Ciccarelli et al., 2017; Davies et al., 1995; García-Mora et al., 2001; Laranjeira et al., 1999; Peña-Alonso et al., 2017; Peña-Alonso et al., 2018; Williams et al., 2001, 1994), només tenen en compte la mida mitjana de les sorres (BeaPot - 6), mentre que BeaPot - 7 mesura el percentatge de sorres < 0.5 mm. Aquesta variable permet ponderar positivament les platges amb granulometria variada (còdols, sorres gruixudes i sorres fines) que presenten un mida mitjana del gra significativament gran (> 2 mm) com per desenvolupar-hi morfologies dunars. La platja de Garbet, al municipi de Colera, en seria un clar exemple (Figura 48C).

La metodologia utilitzada en aquest apartat demostra ser una eina comparable amb mètodes similars, com l'índex ReDune proposat per Lightgow et al. (2014). Aquests autors analitzen les possibilitats de restauració dunar en un conjunt de platges del golf de Mèxic i defineixen tres grup de platges similars als obtinguts en aquest treball: llocs per la

conservació, llocs per la restauració i llocs no restaurables amb possibilitats per la rehabilitació. En aquest treball s'han obtingut agrupacions similars de platges que determinen les accions a dur a terme en cada cas: conservació dunar, restauració dunar, recuperació dunar i renaturalització de la platja alta.

Per concloure, cal ressaltar com a possible limitació el fet que tant aquest treball com els que utilitzen el mateix mètode basat en llistes de control (Bodéré et al., 1994, 1991; Ciccarelli et al., 2017; Davies et al., 1995; García-Mora et al., 2001; Laranjeira et al., 1999; Lithgow et al., 2014; Peña-Alonso et al., 2017; Peña-Alonso et al., 2018; Williams et al., 1994, 2001) estableixen divisions o llinars per a cada variable de forma arbitrària. Per fer-ho es parteix d'assumpcions que sovint són poc fonamentades en l'argumentari del mètode i que, per tant, poden actuar com una possible limitació. Per tal de minimitzar la limitació que suposa el mètode aplicat, s'ha facilitat una completa justificació per a cadascuna de les variables (Annex 2, Annex 3, Annex 4 i Annex 5).

7. Conclusions



Com a recapitulació, es posen de manifest les principals contribucions i fites assolides en d'aquesta tesi doctoral. Fruit de la recopilació de les idees més destacables, en deriven algunes afirmacions de caire reflexiu i *propositiu*. A banda de compilar les principals troballes de la investigació, es remarquen les limitacions més rellevants de la tesi, així com també es suggereixen noves línies futures de recerca vinculades, estrictament, a la metodologia desenvolupada i als resultats obtinguts.

De l'anàlisi se'n deriva que el litoral català està integrat per 823 platges de diferents grandàries i morfologies, de les quals 127 presenten alguna tipologia de morfologia dunar. S'ha distingit entre 11 tipus de sistemes dunars: dunes incipients, *barkhanes*, cordons dunars, cordons dunars amb rereduna, depressions interdunars o *slack*, camps dunars, dunes en rampa, dunes grimpadores o *climbing dunes*, dunes al cim d'un penya-segat o *cliff-top dunes*, dunes situades a l'interior d'estructures urbanes, dunes fixades amb pins. Les dunes fixades són, sens dubte, les morfologies dunars que més extensió ocupen (75%) seguides de lluny pels camps dunars (12%), i els cordons dunars amb rereduna (8%) i, en menor mesura, els cordons dunars (2,5%). En canvi, les dunes incipients i els camps dunars de *barkhanes* són les dunes que menys percentatge ocupen respecte el total de morfologies dunars (2% del còmput global).

Bona part de les dunes fixades amb pins corresponen al sector dunar dels massissos del Montgrí i Begur, antics camps dunars de dunes parabòliques fixades amb pins entre els anys 1896 i 1910. També temps enrere hi hagué camps dunars al delta del Llobregat i al cap de Salou on les grans acumulacions de sorres foren posteriorment fixades amb pins o substituïdes per edificacions. Al llarg de la costa catalana hi ha nombroses dunes costaneres que, sense arribar a assolir el caràcter de camps dunars, actualment també estan reemplaçades per zones residencials o es troben immobilitzades per pins que n'impedeix l'avenç terra endins. Es tracta de les dunes de la cala Borró, del cap Ras, de l'Escala, de l'Estartit, de Pals, de Platja d'Aro, de Blanes o de Cambrils. La reconstrucció històrica i la transformació del paisatge dunar al llarg del temps estan poc estudiats en aquests casos. Per tant, en aquesta línia caldria una exhaustiva tasca de recerca per concretar l'evolució temporal i espacial d'aquests sistemes dunars que des de fa dècades i, fins i tot segles, han estat fixats, tant de forma natural com antròpica, per pinedes. S'obre, així, un possible recorregut de futures investigacions que ajudin a determinar el moment, les causes i les conseqüències de la transformació dels ambients dunars en arbredes de pins.

A banda de les dunes fixades amb pins, ha quedat palès que la resta de formacions dunars fan referència a dunes costaneres adherides a les platges. Entre elles, les més desenvolupades es localitzen al voltant de les desembocadures dels principals rius de Catalunya (deltes de l'Ebre, del Llobregat, golf de Roses i badia de Pals) i als municipis de la província de Tarragona. Els sistemes dunars de menys entitat, en tant que extensió i volum, es troben en platges urbanes i urbanitzades on formen cordons dunars i morfologies dunars incipients confinades entre la platja i les àrees construïdes. En el passat, però, les dunes eren presents a quasi tots els trams de litoral i, fins i tot, s'estenien, per bé que de forma embrionària, per les platges de sediments mitjans i gruixuts i amb vents febles, com la Costa del Maresme o alguns trams de les Costes del Garraf. Des del 1960 a l'actualitat, el paisatge dunar s'ha degradat al 90% de platges catalanes, i tan sols el 10% restant ha mantingut les morfologies dunars gairebé intactes, com és el cas d'algunes platges del delta de l'Ebre, la platja dels Muntanyans o del Torn, a la Costa Daurada. En concret, les dunes han desaparegut per complet al 60% dels casos, mentre que a l'altre 30% les dunes han disminuït d'extensió.

La metodologia de reconstrucció històrica emprada en aquesta recerca ha revelat que, alhora d'identificar les formacions dunars abans del 1960, les fotografies convencionals de la primera meitat del segle XX han aportat més informació que qualsevol altra font històrica consultada. Els documents bibliogràfics i cartogràfics antics només constaten l'existència

dels sistemes dunars més ben desenvolupats de la costa catalana, situats al voltant de les desembocadures dels principals rius, a Torredembarra, als massissos de Begur i del Montgrí i al cap de Salou. La resta de sistemes dunars no són esmentats ni cartografiats en cap dels recursos emprats. Ha estat, doncs, indispensable la consulta de fonts visuals, com les fotografies aèries i convencionals, per tal de reconstruir un mapa sobre la presència de dunes entre els anys 1890 i 1960, etapa al llarg de la qual apareixen els primers documents fotogràfics. Malgrat la rellevància de les fotografies antigues alhora de determinar la presència de morfologies dunars, en nombroses ocasions, aquests documents han estat insuficients per identificar, sense marge d'error, l'existència de morfologies dunars a les platges. A principis de segle XX les platges eren utilitzades per activitats relacionades amb la pesca i, els desfets d'aquesta activitat, sovint quedaven relegats a la platja alta per efecte de les onades. A més, hi ha imatges que presenten una qualitat molt poc definida, el que implica que les morfologies dunars no es poden verificar amb certesa. Les morfologies embrionàries es poden confondre amb restes vegetals o acumulacions de brossa d'origen divers i, fins i tot, amb terraplens semi-vegetats. És justament en aquests casos quan la consulta de les fotos ha estat de gran utilitat per determinar que, efectivament, algunes d'aquestes platges albergaven espècies pròpies d'ambients dunars. En concret, la *Flora de la Cordillera Litoral Catalana. Porción comprendida entre los ríos Besòs y Tordera* de Pere Montserrat (1955) ha permès identificar morfologies dunars embrionàries en nombroses platges des de Blanes fins a Barcelona.

En aquest punt, és bàsic posar de manifest que una de les limitacions de la investigació que ara es conclou ha estat, sens dubte, la dificultat de determinar el tipus de morfologia dunar del passat per mitjà de les fonts històriques consultades. Mitjançant fotografies, mapes i relats escrits, s'han identificat els grans camps dunars de dunes parabòliques i transgressives corresponents a les formacions dunars més extenses i voluminoses. En canvi, ha estat confús definir, a través de fotografies aèries o convencionals, si es tractava de cordons dunars, cordons dunars amb rereduna, o bé detallar quan es tractava de cordons dunars i quan eren dunes embrionàries formades per *nebkas*. Les imatges antigues en blanc i negre dificulten el reconeixement precís de les tipologies, sobretot si es tracta de fotografies aèries verticals. Tot i que en aquesta tesi s'han obviat les tipologies dunars en el passat, no és del tot impracticable la seva definició a partir de la consulta exhaustiva de fotografies de més definició i/o detall. S'inicia així la possibilitat d'una futura línia de recerca destinada a especificar les tipologies dunars del passat i comparar-ne el canvi vers les tipologies actuals. Aquesta precisió permetria quantificar els canvis històrics en el paisatge dunar tot especificant quines zones han perdut superfície de dunes incipients, i quines ho han fet de cordons dunars amb rereduna o camps dunars.

Al marge de les limitacions metodològiques, l'anàlisi realitzada ha verificat que la desaparició i disminució de l'hàbitat dunar està estretament vinculada a les activitats relacionades amb el turisme i amb el procés urbanitzador. Les platges del passat presentaven un entorn eminentment natural i agrari, mentre que avui dia en presenten un de fortament urbanitzat. S'atribueix, doncs, el procés urbanitzador com a principal causa de la degradació dels ambients dunars de la costa catalana. En aquest procés urbanitzador s'inclouen àrees urbanes de baixa i alta densitat, càmpings, infraestructures de transport, passejos marítims, ports, espigons i esculleres. El fenomen d'urbanització del litoral, i molt especialment dels ambients dunars, té el seu origen en un planejament urbanístic que impulsava la privatització i ocupació del sòl de la ribera de mar. La primera Llei de costes de 1969 exclouïa les dunes del concepte de platja i dels béns de domini públic, relegant-les als drets d'edificació inherent a la titularitat privada. Aquest marc normatiu promogué la implementació d'àrees urbanes, càmpings i passejos marítims damunt multitud de les formacions dunars. La Llei de costes de 1988 rectificaria alguns aspectes i posaria en titularitat pública totes les morfologies dunars i, després d'un període de concessió de 60 anys, també serien béns públics totes les construccions existents dins del DPMT. Malgrat els ànims de revertir i reparar la nefasta situació creada per la precedent legislació, les

intencions de la Llei de costes de 1988 es van veure frustrades per l'actual Llei de costes de 2013. La legislació vigent en matèria de costes exclou les dunes estabilitzades i algunes dunes mòbils del DPMT, a menys que l'evidència científica verifiqui que són fonamentals per l'equilibri de la platja i la defensa de la costa. Així, aquesta modificació fa impracticable la regeneració dels sistemes platja-duna malmesos per la mala gestió i manté en titularitat privada moltes parcel·les urbanitzades que podrien reconvertir-se en dunes si següés vigent la normativa anterior.

És també en entorns urbanitzats on actualment s'han localitzat les morfologies dunars més degradades. Es tracta de morfologies dunars incipients i/o *foredunes* formades per un cordó dunar corresponents als estadis de degradació 4 i 5 establerts per Hesp (2002). El precari estat ecològic i geomorfològic de les dunes s'associa a l'absència o ineficient gestió de les platges que no eviten que el trepig, la neteja mecànica o l'expansió d'espècies invasores en malmetin les formacions dunars. Les mesures de gestió sostenibles, com l'acordonament o abalisament dunar, la canalització del flux d'usuaris, la sensibilització ambiental per mitjà de panells informatius, la regulació de la neteja mecànica, el control de la freqüència de visitants, la utilització de trampes de sorra i la replantació vegetal, són variables estretament relacionades amb l'òptim estat ecològic i geomorfològic dels sistemes dunars. A les platges humanitzades, però, s'ha detectat una evident manca de gestió i planificació d'usos favorables al manteniment i/o recuperació dunar. La gestió del sistema platja-duna esdevé un element clau per la coexistència entre les funcions recreatives, de protecció i naturals que exerceixen les platges. L'absència dels esforços de gestió del sistema platja-duna per part de l'administració ha afavorit la degradació ecològica i morfològica dels sistemes dunars, fins el punt que a molts indrets la seva presència hi és merament anecdòtica. Els sistemes platja-duna es veuen amenaçats, a més, per l'erosió de la costa causada per la disminució de l'aportació de sediments i l'increment de la freqüència i intensitat dels temporals.

La gestió i planificació dels sistemes dunars a les costes urbanitzades és un element clau en la conservació i el desenvolupament de les morfologies dunars. En el cas del litoral català, hi ha un clar lligam entre les mesures de conservació i gestió i l'estat de les morfologies dunars. Les formacions dunars més desenvolupades ecològica i morfològicament se situen en els espais més ben gestionats; mentre que les platges on s'han registrat valors baixos de gestió presenten un desenvolupament dunar molt limitat. Contràriament al que es podria esperar, les característiques ambientals de les platges catalanes no determinen l'estat ecològic i morfològic de les formacions dunars, mentre sí que ho fa la gestió dels sistemes platja-duna. En aquest context és especialment rellevant la implementació de mesures de gestió enfocades a la conservació o la regeneració de l'hàbitat dunar.

La combinació dels índexs presentats en aquesta recerca permet als gestors del territori litoral estudiar cada platja de forma individualitzada i determinar-ne el potencial de restauració dunar. En funció dels resultats obtinguts per a cada índex, es determina el potencial de regeneració dunar i es fixen uns objectius que les mesures de gestió poden assolir. En altres termes, s'ha desenvolupat una eina aplicable pels gestors de platges amb coneixements bàsics sobre dinàmica costanera que permet classificar les platges de Catalunya segons la gestió que se'n pot dur a terme: conservació dunar, restauració dunar, recuperació dunar i renaturalització de la platja alta. La metodologia dissenyada en aquesta tesi s'ha aplicat a 50 casos d'estudi, fet que permet ampliar horitzons per estudiar i implementar aquest mètode a la resta de platges de la costa catalana, al marge dels indrets mostrejats. L'aplicació d'aquesta tècnica a un major nombre de platges donaria una idea més concreta sobre l'estat integral dels sistemes platja-duna de Catalunya i el seu potencial de restauració dunar.

Val a dir, però, que els indicadors són representacions de components o processos dels ecosistemes, el que implica que funcionen com a models i tenen totes les possibilitats i limitacions d'aquests. La metodologia exposada en aquesta tesi ha d'aplicar-se seguint els

mateixos criteris a tots els casos d'estudi. Per la seva banda, els gestors han de tenir cert coneixement sobre geomorfologia i ecologia de platges per tal que els resultats obtinguts siguin veraços i satisfactoris. A més, una vegada estipulades les accions de gestió i planificació d'usos a dur a terme a cada platja, cal adoptar les mesures pertinents per assolir els resultats desitjats. És justament en aquest sentit que s'obren futures línies de recerca. Com bé s'apunta en aquesta investigació, la gestió adequada per assolir un desenvolupament ecològic i geomorfològic òptim, i perdurable a llarg termini, correspon a l'aplicació de mesures de gestió sostenibles. Ara bé, aquestes accions s'han d'ajustar i amidar a cada sistema platja-duna en particular ja que la seva incorrecta aplicació pot generar efectes indesitjables i, fins i tot, contraproductius. El coneixement dels ambients dunars, de l'àrea d'estudi i de les dinàmiques costaneres és, doncs, crucial per la correcta conservació, restauració i recuperació dunar. Manquen, en aquest sentit, assajos basats en proves d'errors i encerts que validin la correcta aplicació de les mesures de gestió esmentades per a cada tram de la costa catalana.

Una vegada posades de manifest les aportacions, limitacions i futures línies d'investigació que es deriven d'aquesta recerca, val la pena dedicar un petit fragment a la reflexió personal, a tall de cloenda.

Dissortadament, la prioritització de les funcions turístiques i recreatives vers les de protecció i les naturals de les platges i sistemes dunars ha abocat a la desaparició i decadència accelerada de dunes costaneres. La magnitud de la desfeta en el paisatge dunar català ha de servir de mal exemple a seguir per aquells indrets del mediterrani on encara romanen alguns espais sense urbanitzar. El desenvolupament territorial basat en una indústria turística agressiva i especuladora només beneficia, a curt termini, un pocs oportunistes que comprometen, en perjudici del bé comunal, un dels béns intangibles més valuós, el paisatge. El recurs paisatgístic no només s'ha d'entendre com el principal atractiu turístic, sinó també com una senya d'identitat dels pobles i cultures que, al llarg del temps, l'han forjat. És doncs, un dret inherent als pobles i a les seves memòries històriques, el de mantenir i recuperar el paisatge que, en ocasions, se'ls ha robat.

Amb la voluntat de facilitar aquesta rehabilitació a les platges, es brinda una eina que pretén col·laborar amb les tasques de restauració dunar. En aquest punt, es posa de relleu la importància de renaturalitzar les platges amb criteris ecològics i morfològics fonamentats científicament. El suport i el coneixement d'especialistes en gestió d'ambients dunars és bàsic per aconseguir un escenari adequat a la composició florística i la morfologies d'ambients dunars.

Conclusions

(English version)



The main contributions and achievements reached in this doctoral Thesis are compiled below. The collection of the most remarkable ideas led us to provide some reflections and recommendations. Apart from compiling the main findings of this research, the limitations of this Thesis are also revealed, as well as new future research lines, strictly related to the methodology developed and to the results obtained are suggested.

The analysis reveals that the Catalan coastline is currently integrated by 823 beaches of different sizes and morphologies, of which 127 present some kind of dune morphology. It has been distinguished 11 types of dune systems: incipient dunes, barchans, dunes ridges, dunes ridges with semifixed dunes, slack, dune fields, ramp type dunes, climbing dunes, cliff-top dunes, dunes located inside urban structures, and dunes fixed with pines. The fixed dunes are, undoubtedly, the most extensive dune morphologies (75%) followed by dune fields (12%), dune ridges with semifixed dunes (8%) and, to a lesser extent, dune ridges (2.5%). On the other hand, incipient morphologies and dune fields made of barchans are the rarest (2% of the global).

Many of the dunes fixed with pines correspond to the dune sectors of the Montgrí and the Begur massifs, formed by parabolic dunes and fixed with pines between 1896 and 1910. In addition, some decades ago there were dune fields in the Llobregat Delta and at the Cape of Salou where these large accumulations of sand were either fixed with pines or replaced by buildings. Other coastal dunes along the Catalan coast were also replaced by residential areas or fixed with pines. We are referring here to the *cala Borró* dune systems, in the Cape Ras, and some dunes in the municipalities of *l'Escala*, *l'Estartit*, *Pals*, *Platja d'Aro*, *Blanes* and *Cambrils*. The historical transformation of dune landscapes over time is rarely studied in these cases. Therefore, in this line, an exhaustive research would be necessary to specify the temporal and spatial evolution of these dune systems that have been fixed with pine trees over decades and centuries.

Aside of dunes fixed with pines, the rest of dune formations refer to coastal dunes located in the inner part of beaches, and these are *foredunes* and dune ridges with semifixed dunes. The most developed ones are located around the mouths of the main rivers of Catalonia (Ebro and Llobregat Deltas, Pals Bay and Gulf of Roses) and in some municipalities of Tarragona province. The less extended and smallest dunes are located in urban and urbanized beaches where dune ridges and incipient dune morphologies are cramped between beaches and built-up areas. However, in the past dunes were present in almost all sections of the Catalan coastline and, even in some beaches made up of coarse sands with weak winds, such as the *Costa del Maresme* or some sections of the *Costes del Garraf*. Dune landscape has been degraded in 90% of Catalan beaches since 1960; only the 10% remaining has maintained its dune morphologies intact, (e.g. Ebro Delta and Costa Daurada). Specifically, dunes have completely disappeared in 60% of the cases, while their size decreased in the other 30%.

The historical reconstruction methodology used in this research has revealed that conventional photographs of the first half of the 20th century yielded more information than any other historical source consulted. Old bibliographic and cartographic references only verified the existence of the best developed dune fields, located around the mouths of the main rivers in *Torredembarra*, the Begur and Montgrí Massifs and the Cape of Salou. The rest of dune systems are neither mentioned nor mapped in any of the resources consulted. Therefore, it was essential to consult visual sources such as aerial and conventional photographs in order to reconstruct a dune presence map between 1890 and 1960. However, in some cases photographs have been insufficient to clearly identify the existence of dune morphologies at some beaches. The reason is that at the beginning of the 20th century the beaches were used for activities related to fishing and waste materials were often relegated to the upper beach because of wave dynamics. In addition, there are images with poor resolution, which leads to uncertainty when verifying dune morphologies. Hence, embryonic morphologies can be confused with vegetables, garbage

accumulations, and semi-vegetal embankments. In these cases, it was necessary to verify dune habitat existence using flora manuals, which brings a detailed information regarding dune-restricted plants species. Specifically, the *Flora de la Cordillera Litoral Catalana. Porción comprendida entre los ríos Besòs y Tordera* by Pere Montserrat (1955) allowed to identify embryonic dune morphologies in several beaches from Blanes to Barcelona.

At this point, it is of great importance to remark that one of the limitations of this research was the difficulty when determining the type of dune morphology in the past. Old photographs, maps and written accounts consulted, only allowed to identify the typology of dunes in large and well-formed dune fields. However, it was hard to differentiate between dune ridges or dune ridges with semifixed dunes through aerial or conventional photographs. In addition, it was unconceivable to detail if there were dune ridges or incipient dunes made up of nebkas. The old black and white pictures make difficult to recognize these typologies, especially if they were vertical aerial photographs. This suggests the possibility of a future line of research aimed at specifying the dune typologies of the past and comparing the change to their current status. This precision would allow to quantify the historical changes in the dune landscape, giving more insights on which areas have lost surface of incipient dunes, and which ones have lost extension in semi stabilized foredunes.

Regardless of the methodological limitations, the analysis carried out verified that the disappearance and degradation of the dune habitat is closely linked to tourism-related activities and the urbanization process. The beaches of the past presented, basically, natural and agricultural environments, while today's ones have suffered from urbanization in their surroundings. The urbanization process is thus pointed out as the main cause of degradation of dune environments in the Catalan coast. Such urban development process includes high and low density residential areas, campsites, transport infrastructures, maritime rides, ports, breakwaters and breakwaters. Urbanization of the coastline, especially in dune areas, has its origin in urban planning that promoted the privatization and occupation of the shoreline. The first law regarding cost environments was adopted in 1969 and excluded dunes from the concept of *beach* and also from public domain goods. This regulatory framework promoted the implementation of private and public good as buildings, campsites and promenades on a multitude of dune formations. Next 1988 Coastal Law would rectify some aspects and would place in public domain all dune morphologies and existing constructions, becoming public goods after a concession period of 60 years. In spite of the good intentions of reversing and repairing the nefarious situation created by the preceding legislation, the intentions of the 1988 Coastal Law were frustrated by the current Coastal Law from 2013. This current legislation excludes stabilized dunes and some mobile dunes from the public domain, unless scientific evidences verify that they are fundamental for beach-dune system balance and coastal protection. Thus, this modification makes the regeneration of beach-dune systems impracticable due to mismanagement and maintains in private ownership many urbanized plots that could have been converted into dunes if the previous regulations were in force.

Most dune morphologies are currently located in urbanized beaches. We are referring here to incipient dune morphologies and or dune ridges or semi stabilized foredunes corresponding to the 4 and 5 degradation stages established by Hesp (2002). The precarious ecological and geomorphological status of dunes is related to either the lack or inefficient management measures of beaches that cannot prevent damage in dune formations. Sustainable management measures such as roping-off dunes, managed paths, informational panels, regulation of mechanical cleaning, using sand traps or revegetation, are variables closely related to the optimal ecological and geomorphological status of dune systems. The management of beach-dune systems becomes then a key factor for the coexistence between the recreational, natural and protective functions that take place on beaches. The lack of management efforts has favored the ecological and morphological degradation of dune systems, to the point that in many places its presence is merely

anecdotal. The beach-dune systems are also threatened by the erosion of the coast caused by the decreasing sediment contribution and the increase in the frequency and intensity of the storms.

The management and planning of dune systems on urbanized coasts is a key element in the conservation and development of dune morphologies. In the case of the Catalan coastline, there is a clear link between the management measures and the state of dune morphologies. The most ecological and morphologically developed dunes are located in well-managed areas, while the beaches where low values of management have been registered present a very limited dune development. Contrary to what one would expect, the environmental characteristics of Catalan beaches do not determine the ecological and morphological status of dunes, while the management of beach-dune systems does. In this context, the implementation of management measures focused on the conservation or regeneration of dune habitat is especially relevant.

The combination of the indices presented in this research allows coastal area managers to study each beach individually and to determine the potential for dune restoration. Depending on the results obtained for each index, the potential for dune regeneration is determined and the objectives that can be achieved. In other words, a tool has been developed for beach managers with basic knowledge on coastal dynamics that allows classifying the beaches of Catalonia according to the management that can be carried out: conservation dunes, restoration of dunes, recovery of dunes and renaturalization of the dry beach. The methodology designed in this thesis has been applied to 50 study cases, which allows extending horizons to study and implement this method in the rest of the beaches of the Catalan coast, apart from the places sampled. The application of this technique to a greater number of beaches would give a more concrete idea about the integral state of the beach-dune systems of Catalonia and its potential for restoring dunes.

However, it is of great importance to remark that indicators are representations of components and processes of ecosystems, which make them act as models with their pros and cons. Thus, the methodology set out in this thesis must be applied according to the same criteria in all cases of study. Additionally, managers must have some knowledge about geomorphology and ecology of beaches so that the results obtained are certain and satisfactory. On the other side, once the management and planning actions were stipulated, it is necessary to specify which acts should be taken to achieve the desired results. It is precisely in this sense that emerge new future research lines. As pointed out in this research, the appropriate management measures to achieve an optimal ecological and geomorphological development corresponds to the application of sustainable management measures. However, these actions must be adjusted and measured in each beach system in particular, since an incorrect use can generate undesirable and counterproductive effects. Therefore, generate knowledge about methods for conservation, restoration and recovery of dune environments in the area of study should be considered crucial. In this sense, this model misses essays based on evidence of errors and successes that would validate the correct application of the management measures mentioned for each section of the Catalan coast.

Once the main contributions, limitations and future lines of research derived from this thesis are exposed above, it is worthwhile to dedicate a small fragment to the personal reflection.

Unfortunately, the prioritization of tourist and recreational functions at the expense of those of protection and natural ones on beach-dune systems has led to the disappearance and accelerated decline of coastal dunes. The magnitude of damages on the Catalan dunes landscapes should serve as a bad example management plan to avoid for those places on the Mediterranean coast where dune areas remain untouched. Territorial development based on aggressive and speculative tourist industry only benefits, in the short term, a few opportunists who, at the expense of the communal benefits, compromise one of the most

valuable intangible goods: the landscape. This resource should not only be understood as the main tourist attraction, but also as a sign of identity for people and cultures that have forgotten it over time. It is, therefore, an inherent right for people and their historical memories to maintain and recover the landscape.

With the aim of facilitating this landscape rehabilitation on beaches, a tool is offered for collaborating with dunes restoration tasks. At this point, the importance of re-naturalizing beaches with scientifically based ecological and morphological criteria is highlighted. The knowledge and experience of specialists in dune management is essential to achieve a suitable floristic composition and morphology in dune retreated environments.

Annex 1. Fons i col·leccions de fotografia històrica consultats

INSTITUCIÓ	FONS I COL·LECCIONS
Ajuntament de l'Ametlla del Vallès	Museu Postal Antiga
Ajuntament de l'Escala	Josep Esquirol
Arxiu fotogràfic de Barcelona	Ajuntament de Barcelona
	Arxiu fotogràfic de Barcelona
	Carlos Pérez de Rozas
	Editorial López
	Josep Badosa Montmany
	Olaguer Junyet Sans
	Sociedad de Atracción de Forasteros
Arxiu Municipal de Begur	Diversos fons i col·leccions
Arxiu Municipal de Castelldefels	Diversos fons i col·leccions
Arxiu Municipal de Gavà	Diversos fons i col·leccions
Arxiu Municipal de Pals	Diversos fons i col·leccions
Arxiu Municipal de Salou	Diversos fons i col·leccions
Arxiu Municipal Torroella de Montgrí	Josep Verd Planas
	Miquel Graells
Biblioteca Nacional de Catalunya	Editorial Albert Martín
	Frederic Mompou
	Joan Gustems Vinyals
	Josep Salvany
Centre de Recerca i Difusió de la Imatge de Girona	Alberto Morato Miró
	Col·lecció l'Abans
	Carles Batlle Encesa
	Col·lecció Josep Bronsoms Nadal
	Col·lecció Joan Cortés
	Col·lecció Jordi Gibert Gibert
	Col·lecció Josep Maria Vila Burch
	Col·lecció Museu del Cinema
	Ernest Guissanyé Ribas
	Escolania del Mercadal
	Farinera Montserrat
	Foto Lux
	Frances Riuró Llapart
	Fotografia Unal
	Impremta Franquet
	Josep Jou Parés
Joan Masó Valentí	
Narcís Sans Prats	
El Punt	
Salvador Cresentí Miró	
Valentí Fragnoli	

INSTITUCIÓ	FONS I COL·LECCIONS
	Antoni Bartomeus Casanovas
	Antoni Carbonell Fita
	Antoni Gallardo Garriga
	Arnau Izard i Llonch
	Antoni Maymó Duarte
	Albert Oliveras Folch
	Borràs
	Carles Fargas Bonell
	Cristòfol Fraginals Massana
	Enric Llorenç Ferrer
	Enric Mateu Bordàs
	Ernest Mullor Creixell
	Enric Mateu Pagès
	Emili Pullicer Boulanger
	Eduard Royo Crespo
	Francesc Alzina Vila
	Francesc Blasi Vallespinosa
	Ferran Domains Recoder
Centre Excursionista de Catalunya	Federic Flos Gibernau
	Ignasi Canals Tarrats
	Jaume Biosca Juvé
	Josep Domènech Sàbat
	Josep Danés i Torres
	Josep Maria Co i de Triola
	Joaquim Morelló Nart
	Josep Puntas i Jensen
	Josep Torrent Garrigoles
	Lluís Amat i Bordes
	Lluís Estasen i Pla
	Màrius Aguirre Serrat-Calvó
	Estudi de la Masia Catalana
	Marcel·lí Gausachs Gausachs
	Norvert Font Sagué
	Òscar Torras i Buxeda
	Pere Bonet Marquès
	Pere Gurri
	Rosend Flaquer i Barrera
	Román Julià Bonet
Diputació de Barcelona	Arxiu de la Maternitat
	Servei de Patrimoni Arquitectònic Local
	Dani Duch
INSPAI. Centre de la Imatge. Diputació de Girona	Diputació de Girona
	Emili Maçanes Burcet
	Pablo García Cortés
Institut Ametller	Arxiu Mas

INSTITUCIÓ	FONS I COL·LECCIONS
Institut d'Estudis Fotogràfics de Catalunya	Diversos fonts i col·leccions
Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya	Fons família Cuyàs
	Gonzal de Reparaz
	Josep Gaspar Serra
	Pau Vila
	Servicios Aéreos Comerciales Españoles (SACE)
Museu de la Targeta Postal	Ernest Boix
Museu de Mataró-Secció Ciències Naturals	Pere Montserrat
Postals Antiques de Catalunya	Ernest Boix
Xarxa d'Arxius Comarcal i Nacional de Catalunya	Diversos fonts i col·leccions

Annex 2. Justificació i mètode de càlcul per a les variables utilitzades a l'indicador StaDun (estat geomorfològic i ecològic de les dunes). Les "referències bibliogràfiques" detallen estudis que han utilitzat les mateixes variables o molt semblants per al càlcul del desenvolupament dunar; si el camp està buit indica que la variable és de nova aportació.

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
1. Tipus de dunes	El grau de desenvolupament dunar s'ha descrit mitjançant la tipologia dunar del sistema. S'han establert 5 tipus de dunes segons els diferents estadis de formació dunar. En aquesta seqüència, el desenvolupament dunar s'inicia amb les dunes incipients (valor 1) que a mesura que guanyen desenvolupament esdevenen cordons dunars (2) i, posteriorment, cordons dunars amb rereduna (3). Els camps dunars (4) són el tipus de dunes més desenvolupats, tant per les dimensions que assoleixen com per la superfície que ocupen.	La tipologia dunar s'ha determinat a partir dels resultats d'aquest treball (vegeu l'apartat 5.1.1. <i>Tipus de dunes</i>), els quals s'han basat en la classificació establerta per Josep Pintó et al. (2014) i Josep Pintó i Garcia-Lozano (2016).	Observació durant les sortides de treball de camp	Pintó et al. (2014)
2. Superfície del sistema dunar	L'àrea per la qual s'estén un sistema dunar indica la superfície en la qual les formacions dunars es poden desenvolupar, així com la superfície disponible per a satisfer les funcions ecològiques d'alberg de biodiversitat que té el seu hàbitat exclusiu en ambients de platja i duna. Com més gran esdevé l'espai ocupat per la duna, més possibilitats té d'esdevenir un cordó dunar o un cordó dunar amb rereduna; i més biodiversitat pot albergar.	L'extensió de les formacions dunars s'ha cartografiat mitjançant ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4). Posteriorment s'ha calculat la superfície dels polígons en hectàrees.	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999) Pintó et al. (2014)
3. Àrea ocupada per la duna en relació al sistema platja-duna	L'extensió que ocupen les dunes és quelcom rellevant, però també s'ha de tenir en compte quin percentatge suposa aquesta superfície en relació al conjunt de la platja. Cal assenyalar que s'ha valorat més positivament l'existència d'una morfologia dunar de modestes dimensions en un platja petita, vers una formació dunar reduïda dins un sistema platja-duna molt ampli.	L'extensió del sistema platja-duna s'ha cartografiat mitjançant ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4) i posteriorment s'ha calculat la superfície dels polígons en hectàrees	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	
4. Alçada màxima de la <i>foredune</i>	A més del desenvolupament dunar marcat per la tipologia de les dunes i per la seva extensió, també se n'ha estudiat el seu desenvolupament vertical. L'alçada de les dunes, a més,	Ús d'un mesurador làser de la marca Leica (model Disto D510) i d'un GPS de precisió mil·limètrica	Mesuraments durant les sortides de treball de camp	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
	incrementa el volum de les morfologies i, per tant, de la reserva sedimentària disponible per a regenerar els sistemes dunars i la mateixa platja després d'episodis erosius. Alguns autors agafen de referència l'altura mitjana de la <i>foredune</i> (D. Ciccarelli et al., 2017; García-Mora et al., 2001; Peña-Alonso et al., 2017; Peña-Alonso, Gallego-Fernández, et al., 2018; Pintó, Martí, et al., 2014).	de la marca Reach (model Emlid)		Laranjeira et al. (1999)
5. Morfologies incipients al front de la <i>foredune</i>	La formació de morfologies incipients al front de la <i>foredune</i> indica la progradació del sistema dunar en direcció a la platja. Aquest fenomen pot ser símptoma de varis processos: de la recuperació del sistema després d'episodis erosius; de la formació d'un nou cordó dunar; o bé, del bon estat integral del perfil dunar, generalment present en platges naturals on la circulació de maquinària de neteja o aplanament de la sorra no hi és present.	L'extensió de les formacions dunars s'ha cartografiat mitjançant ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4). Posteriorment se n'ha diferenciat la part de morfologies incipients de la resta. La superfície dels dos polígons ha estat calculada en hectàrees.	Observació durant les sortides de treball de camp i delimitació cartogràfica en ortofotomapes: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999) Roig-Munar et al. (2006) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018)
6. Evolució del front dunar des de 1956	La tendència evolutiva del sistema dunar en les darreres dècades indica l'estat de conservació o de degradació en què es troba el paisatge dunar. A més, l'evolució del front dunar informa sobre les perspectives de futur de les morfologies dunars si la tendència observada no es reverteix. S'ha considerat òptima una situació de progradació del front dunar (4), vers els escenaris desaparició (0) o retrocés (1) que s'han considerat desfavorables.	S'ha comparat el front dunar de la fotografia aèria del Vol Americà amb una ortofotomapa l'actual (mitjançant el Vissir de l'ICGC) i se n'ha determinat la tendència evolutiva	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vuelo Americano Serie B [Fotografia aèria vertical]. 1:33.000 Aprox -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999)
7. Estat de la <i>foredune</i> segons Hesp (2002)	Per avaluar l'estat de degradació del conjunt dunar s'ha pres com a punt de partida la classificació establerta per Carter i Woodroffe (1994), Arens i Wiersma (1994) i Hesp (2002; 1988) que descriuen cinc estats de degradació morfo-ecològica on la seqüència evolutiva depèn de l'erosió i la disminució de la cobertura vegetal. Les cinc fases de degradació dunar descrites per Hesp (2002, 1988) passen de l'estadi 1 (sent l'estat natural més desenvolupat del sistema dunar format per una <i>foredune</i> contínua i vegetada amb morfologies incipients al vesant orientat al mar) a l'estadi 5 (que és l'estat més degradat de les morfologies dunars on petits monticles aïllats entre sí	Per determinar la fase de degradació, s'ha comparat l'estat actual de la <i>foredune</i> amb la descripció feta per Hesp (2002). La Figura 9 pot ajudar a il·lustrar la descripció dels diferents estadis de degradació detallats a la Taula 1.	Observació durant les sortides de treball de camp	Roig-Munar et al. (2006)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
	evidencien l'existència d'un antic cordó dunar que ara només es fa present de forma discontinua al llarg del sistema). Els estadis de degradació 2 – 4 són una progressió que s'assoleixen a mesura que els processos erosius avancen i disminueix la cobertura vegetal de les morfologies dunars (Taula 1). Hesp (2002) va determinar que per revertir la degradació del sistema dunar cal aplicar certes mesures de gestió, com la revegetació i l'estabilització del sistema platja-duna.			
8. Espècies de tipus III en el front dunar segons García-Mora et al. (2001)	García-Mora et al. (2000; 1999) han establert tres tipus de grups funcionals pel sud de la península Ibèrica relacionats amb la mobilitat del substrat. El grup de plantes de tipus I abunda als trams més estables, mentre que les plantes de tipus II augmenten la seva abundància relativa en les zones afectades per l'erosió. Finalment, les plantes de tipus III dominen on hi ha processos d'acumulació eòlica, l'abundància relativa de les quals indica acreció del sistema dunar. García-Mora et al. (2001) suggereixen que l'abundància relativa de les espècies de tipus III constitueix un bon indicador biològic de l'estat dels sistemes dunars	L'estudi de vegetació s'ha realitzat mitjançant plots de 25 m ² cada 100 metres al llarg dels sistemes dunars. Els plots han estat replicats al llarg del transsecte longitudinal per a tots els hàbitats presents a l'espai dunar (1 plot per a cada hàbitat cada 100 metres). S'han llistat les espècies presents recollint-ne les dades d'abundància i recobriment:	Realització de llistat d'espècies durant les sortides de treball de camp i identificació de les espècies de tipus III segons Garcia-Mora et al. (2001)	García-Mora et al. (2001) Ciccarelli et al. (2017)
9. Plantes exclusives de sistemes platja-duna segons Pintó et al. (2012)	Mahdavi i Bergmeier (2016) i Mahdavi et al. (2017) comparen els grups funcionals de plantes al llarg de diferents regions biogeogràfiques i troben que, malgrat que les afiliacions funcionals d'espècies dunars són similars entre les regions estudiades, les similituds florístiques entre regions i tipus d'hàbitats són molt baixes. Donat que les espècies dunars són tan específiques segons cada regió, s'han examinat les plantes exclusives dels sistemes platja-duna de la costa catalana. Altres estudis florístics utilitzen les llistes d'espècies exclusives d'ambients dunars (Grunewald & Schubert, 2007; Pintó et al., 2012) i les utilitzen com un indicador ecològic dels sistemes dunars (Carboni, Carranza, & Acosta, 2009; Pintó, Martí, et al., 2014). Pintó et al. (2014, 2012) van llistar un total de 37 espècies exclusives de sistemes platja-duna a les platges catalanes	- Les plantes de tipus III estan llistades a l'Annex 8 - Les 37 plantes exclusives dels sistemes platja-duna estan compilades a la Taula 5 de l'apartat dedicat a l'àrea d'estudi	Realització de llistat d'espècies durant les sortides de treball de camp i identificació de les espècies exclusives de platja-duna segons Pintó et al. (2014, 2012, en revisió)	Pintó et al. (2014) Ciccarelli et al. (2017)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
10. Espècies invasores	<p>Les plantes invasores són aquelles espècies exòtiques que la seva introducció suposa un impacte negatiu a les comunitats locals a través de fenòmens de competència. L'aparició d'éssers vius fora de la seva àrea de distribució natural és, juntament amb la destrucció dels hàbitats, el segon problema ambiental que afecta la biosfera a escala global. Les espècies invasores d'ambients litorals suposen una pèrdua de biodiversitat, la homogeneització dels ecosistemes i de les comunitats i, fins i tot, l'extinció d'espècies (del Vecchio et al., 2016; Lubke, 2004; Malavasi, Santoro, Cutini, Acosta, & Carranza, 2016; Martínez & García-Franco, 2004; McLachlan & Defeo, 2018c; Nordstrom, 1994; Panareda & Pintó, 2015).</p>	<p>- Les espècies invasores s'han identificat segons el <i>Atlas de las plantas alóctonas invasores en España</i> (Sanz, Dana, & Sobrino, 2004), i estan disponibles a l'Annex 8</p>	<p>Realització de llistat d'espècies durant les sortides de treball de camp i identificació de les espècies invasores segons (Sanz et al., 2004)</p>	<p>García-Mora et al. (2001) Pintó et al. (2014) Peña-Alonso et al. (2017)</p>
11. Espècies ruderals	<p>Les espècies ruderals són les pròpies d'ambients molt alterats per l'home i són indicador d'elevada freqüentació als ambients dunars. Gallego-Fernández, Vallés i Dellafiore (2006) consideren que les plantes ruderals són un indicador del grau d'alteració de les condicions naturals de la platja i de les <i>foredunes</i>.</p>	<p>- Les plantes ruderals s'han determinat a partir de la descripció de la Flora dels Països Catalans (Bolos & Vigo, 1984-2001) que hi fa referència com a “plantes ruderals”, “plantes nitròfiles”, de “llocs calcigats”, “de vores de camins”, “<i>Hordeio leporini</i>” o de les classes de vegetació “<i>Ruderali-Secalietaea</i>”, i “<i>Asphodelo-Hordeetum</i>”. Les espècies ruderals identificades són consultables a l'Annex 8.</p>	<p>Realització de llistat d'espècies durant les sortides de treball de camp i identificació de les espècies ruderals segons (Bolos & Vigo, 1984-2001)</p>	<p>Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018)</p>

Annex 3. Justificació i mètode de càlcul per a les variables utilitzades a l'indicador BeaPot (potencial de les platges per desenvolupar dunes). Les "referències bibliogràfiques" detallen estudis que han utilitzat les mateixes variables o molt semblants per al càlcul del desenvolupament dunar; si el camp està buit indica que la variable és de nova aportació.

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
1. Pendent de platja (°)	La topografia de la platja (amplada i pendent) és determinant per a la formació de dunes (Martínez & Psuty, 2004; Maun, 2009). Els pendents suaus faciliten l'acumulació i transport de sorra a través de les onades, que una vegada seca és transportada pel vent. La presència de grans formacions dunars s'associa més a platges dissipatives (amples, de poc pendent i sorra fina), que a platges reflexives (més estretes, costerudes i de materials més grollers). Tot i això, en costes estretes i micromareals també s'hi allotgen morfologies dunars formades per cordons dunars i dunes estabilitzades si l'amplada de la platja, el flux sedimentari i el transport eòlic ho permeten (Houser & Ellis, 2013). Altres estudis consideren important si les platges són dissipatives, reflexives o intermèdies alhora de calcular-ne la vulnerabilitat dunar (Bodéré et al., 1994, 1991; Peña-Alonso et al., 2017).	Informació disponible a les fitxes descriptives del Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)	Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)	
2. Erosió de la platja (m/any)	Per a mesurar el balanç sedimentari del sistema platja-duna alguns autors quantifiquen directament les aportacions sedimentàries cap a la platja (Bodéré et al., 1994, 1991; D. Ciccarelli et al., 2017; Peter Davies et al., 1995; García-Mora et al., 2001; Williams et al., 1994). En no disposa d'aquesta informació, s'ha tingut en compte l'evolució en m/any de la platja que ens informa sobre si el balanç sedimentari és positiu o negatiu.	Informació disponible a les fitxes descriptives del Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)	Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)	Peña-Alonso et al. (2017) Ciccarelli et al. (2017)
3. Orientació de la platja en relació als vents dominants	Walker et al. (2017) alerten que la direcció i l'angle d'incidència del vent al topiar amb la <i>foredune</i> són determinants per a l'acumulació o l'erosió de sorra en el front dunar. Degut al fet que el desplaçament dels grans de sorra es produeix en la direcció de sobrevent a sotavent, es necessiten <i>onshore winds</i> per a la formació dunar. El transport eòlic està limitat a períodes de bonança restringit a situacions durant les quals els <i>onshore</i>	Les dades sobre la direcció dels vents dominants corresponen a la sèrie temporal 1958 – 2018 i s'han obtingut per mitjà d'una petició particular a la <i>División de Banco de Datos Oceanográficos</i> del servei de Puertos del Estado.	Servei d'atenció de Puertos del Estado	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) García-Mora et al. (2001) Ciccarelli et al. (2017)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
	<p>winds alimenten a les dunes amb sorres procedents de la platja seca i les onades no s'enduen novament la sorra a la platja submergida (Arens, 1996).</p> <p>Així, en platges on la direcció del vent és de terra cap a mar el transport eòlic retornarà la sorra aportada pels temporals de mar novament al mar. En canvi, si la direcció dels vents dominants és de mar cap a terra, el desenvolupament dunar es veu afavorit per l'aportació de sorres provinents del mar i pel transport d'aquests materials sedimentaris terra endins.</p>			
4. Intensitat mitjana del vent (m/s)	La velocitat mínima que necessita el vent per moure un gra de sorra depèn de les característiques físiques i químiques del sediment i de les característiques ambientals i topogràfiques. Tot i que Bagnold (1941) determinava el llindar de velocitat del vent superior a 4 m/s pel transport d'arenas, les morfologies dunars es desenvolupen en ambients on aquestes velocitats són substancialment menors.	Les dades sobre la intensitat mitjana del vent corresponen a la sèrie temporal 1958 – 2018 i s'han obtingut per mitjà d'una petició particular a la <i>División de Banco de Datos Oceanográficos</i> del servei de Puertos del Estado.	Servei d'atenció de Puertos del Estado	
5. Altura d'ona significant mitjana Hs (m)	La intensitat de l'onatge determina la mesura en què els materials sedimentaris són transportats des de la part submergida a la part emergida de la zona litoral activa. En episodis de temporals molt enèrgics aquest procés s'inverteix i els materials de la part emergida retornen a la part submergida, erosionant la <i>foredune</i> i degradant la façana frontal de les dunes. Aquest procés erosiu és més accentuat contra més alta sigui l'altura d'ona significant mitjana (Hs).	Informació disponible a les fitxes descriptives del Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)	Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)	Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018) Ciccarelli et al. (2017)
6. Diàmetre del sediment (d50)	Diverses característiques interfereixen en el transport eòlic del sediment com la rugositat, la forma, la densitat o la mida del gra. En canvi, la literatura citada al camp "Referències bibliogràfiques" utilitza el diàmetre sedimentari per a estudiar el desenvolupament dunar. Contra més fi és el sediment més susceptible és a ésser transportat pel vent i més flux arenós es transporta des de la platja cap a la duna. Williams, Duck, & Phillips (2011) i Bird (2008) estableixen una mida de gra d'entre 0.1 a 0.3 mm de diàmetre per al desenvolupament abundant de dunes, motiu pel qual aquestes mesures han estat	Informació disponible a les fitxes descriptives del Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)	Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999) García-Mora et al. (2001) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018) Ciccarelli et al. (2017)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
	<p>classificades entre els valors 3 i 4 de la llista de control.</p> <p>La major part d'autors citats al camp de "Referències bibliogràfiques" utilitzen la classificació granulomètrica basada en l'índex de Phi (ϕ), en canvi les dades disponibles per les platges analitzades són el diàmetre mitjà del sediment (d_{50}).</p>			
7. Sorres < 0.5mm	<p>A més de la mida mitjana del gra, s'ha introduït una altra variable que permet identificar quin percentatge de la platja està composta per sorres mitjanes, fines i molt fines (< 0.5mm segons la classificació de Wentworth). Aquesta variable permet diferenciar entre platges homogènies de grava (mides de gra entre 2 i 3mm) que computin una mida mitjana de gra de 2.5mm, i platges heterogènies de còdols i sorres fines (mides compreses entre 0.07 i 75mm) que també mesurin una mitjana de 2.5mm. Les segones són més adequades que les primeres per a desenvolupar dunes ja que malgrat comptar amb la presència de còdols, hi abunden les sorres fines que s'acumulen a la platja alta i formen petits cordons dunars.</p>	<p>Informació disponible a les fitxes descriptives del Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)</p>	<p>Llibre Verd sobre l'Estat de la Zona Costanera de Catalunya (ICC, 2010)</p>	
8. Àrea coberta per còdols en relació a la platja	<p>El desenvolupament dunar esdevé especialment costós en platges cobertes per pedres arrodonides o còdols. Malgrat que les capes inferiors al codolar poden presentar sediment sorrenc, l'àrea superficial ocupada per còdols és un element determinant per al desenvolupament dunar. Així, contra més extensió ocupin els materials pedregosos menys puntuació se'ls ha atorgat a les llistes de control.</p>	<p>L'extensió de la superfície coberta per còdols s'ha identificat durant les sortides de treball de camp i, posteriorment, s'ha cartografiat mitjançant ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4). La superfície dels polígons ha estat calculada en hectàrees</p>	<p>Observació durant les sortides de treball de camp i delimitació cartogràfica en ortofotomapes:</p> <p>Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500</p>	<p>Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018) Ciccarelli et al. (2017)</p>
9. Amplària mitjana de la platja seca	<p>La topografia de la platja (amplada i pendent) és determinant per a la formació de dunes (Martínez & Psuty, 2004; Maun, 2009). La platja seca ha de ser suficientment ampla per acumular la major sedimentació sorrenca possible. Així, les formacions dunars seran més extenses contra més l'amplària presenti la platja seca.</p> <p>Recerques prèvies dutes a terme a l'àrea d'estudi (ICC, 2010) que tingueren en compte la intensitat mitjana i la freqüència de temporals (d'acord amb l'alçada d'ona significat -Hs- amb un</p>	<p>A partir d'ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4), s'han traçat línies perpendiculars a la ribera de mar cada 200 metres. Posteriorment s'ha calculat la longitud mitjana del conjunt de línies mesurades a cada platja.</p>	<p>Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500</p>	<p>Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018)</p>

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
	<p>període de retorn $-T_R-$ de deu anys), així com els seus efectes erosius a les platges, van estimar que les platges amb una amplada mitjana inferior a 15 metres eren considerades insuficients per protegir la costa dels impactes dels temporals. Només les platges amb una amplada superior als 35 metres són capaces de complir amb totes les funcions de la platja, les recreatives, les naturals i les de protecció (Ariza et al., 2010). Mentre que les platges amb una amplada entre 15 i 35 metres no podrien garantir la protecció dels béns i serveis costaners (ICC, 2010).</p>			

Annex 4. Justificació i mètode de càlcul per a les variables utilitzades a l'indicador CoMan (mesures de conservació i gestió al sistema platja-duna). Les "referències bibliogràfiques" detallen estudis que han utilitzat les mateixes variables o molt semblants per al càlcul del desenvolupament dunar; si el camp està buit indica que la variable és de nova aportació.

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fons d'informació	Referències bibliogràfiques
1. Afluència de visitants en temporada alta (m ² /usuari)	El trepig, la freqüentació dels usuaris i la preparació de la platja per a l'ús turístic són un element clau en la degradació dunar ja que n'altera la dinàmica funcional i ecosistèmica (Brown & McLachlan, 2002; Curr et al., 2000; de Luca et al., 2011; Defeo et al., 2009; Nordstrom, 2000; Nordstrom et al., 2011; Perry & D' Miel, 1995). Les conseqüències més evidents derivades de l'elevada freqüentació són l'alteració de la flora i fauna, la compactació del sòl i l'erosió per eliminació de cobertura vegetal i obertura de corriols, originant erosió de les formes dunars.	Per quantificar la freqüentació humana s'ha seguit el mètode que s'utilitza per a determinar la capacitat de càrrega de les platges en què es determinen els metres quadrats de platja seca disponibles per a cada usuari (García-Morales, Arreola-Lizárraga, & Grano, 2018; Rodella, Corbau, Simeoni, & Utizi, 2017; Zacarias, Williams, & Newton, 2011). L'extensió de les formacions dunars s'ha cartografiat mitjançant ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4). Posteriorment s'ha calculat la superfície dels polígons en metres quadrats	Entrevistes als ajuntaments, als parcs naturals o als consorcis i entitats supramunicipals	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) García-Mora et al. (2001) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018) Ciccarelli et al. (2017)
2. Panells informatius	Per evitar el trepig i els seus efectes erosius Roig-Munar et al. (2009) i Roig-Munar et al. (2013) corroboren que les mesures de gestió laxes aplicades durant dècades a diferents sistemes platja-duna de les Illes Balears i de les planes de l'Alt i el Baix Empordà, són una eina clau per a la sostenibilitat del sistema en el seu conjunt. Entre aquestes mesures destaquen la col·locació de panells informatius, l'ús de passarel·les d'accés a la platja a través de les dunes i	Els panells informatius s'han comptabilitzat durant les sortides de treball de camps	Observació durant les sortides de treball de camp	Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999)
3. Passarel·les d'accés a la platja		La tipologia de passarel·la s'ha determinat durant les sortides de treball de camps	Observació durant les sortides de treball de camp	Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
4. Franja de la platja alta restringida al pas	<p>L'acordonament dunar a fi de sensibilitzar, conscienciar i evitar que els usuaris de les platges accedeixin a la zona de bany a travessant sense regulació el sistema dunar. Gracia et al. (2009) ressalten la importància d'utilitzar passarel·les elevades i panells informatius que permetin a l'usuari prendre consciència del seu pas a través dels diferents hàbitats que un pot trobar des de les maresmes fins les dunes incipients.</p> <p>La tipologia d'accessos a les platges determina la mesura en què un espai dunar es veu afectat per l'afluència de gent. Les passarel·les arran de terra, tot i ésser un mètode de gestió del flux d'usuaris, interfereixen en el moviment de sorres i malmeten les morfologies i els hàbitats dunars. Les passarel·les menys nocives corresponen a les aèries i laterals, ponderades amb valor 3 i 4 respectivament a la llista de control. Les passarel·les laterals s'han considerat més òptimes que les aèries perquè contribueixen a allunyar els visitants de les formacions dunars i a conservar íntegrament una part del sistema dunar. En canvi, les passarel·les aèries poden comportar contaminació directa de materials sòlids cap a les formacions dunar, a més de contribuir negativament al desplaçament d'alguns rèptils autòctons (Carpio, Figueras, & Tortosa, 2017).</p>	<p>L'extensió de la superfície restringida al pas s'ha identificat durant les sortides de treball de camp i, posteriorment, s'ha cartografiat mitjançant ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4). La superfície dels polígons ha estat calculada en hectàrees i s'ha posat en relació amb la totalitat de l'àrea ocupada per les morfologies dunars.</p>	<p>Observació durant les sortides de treball de camp i delimitació cartogràfica en ortofotomapes:</p> <p>Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500</p>	<p>Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999)</p>
5. Captadors de sorra a la <i>foredune</i>	<p>Les barreres d'interferència eòlica són el mecanisme per excel·lència per crear morfologia dunar de forma natural allà on ha estat parcial o completament eliminada (McLachlan & Brown, 2006; Nordstrom, 2008). Les dunes resultant dependran, tant en mida com en forma, la porositat, la geometria i l'alçada del material utilitzat, com de l'orientació i la inclinació, així com de les característiques de la sorra i del vent. La separació entre tanques i la topografia del terreny també són un factor que determinarà els resultats obtinguts. Per últim, però no menys important, el manteniment de les accions de restauració dunar establiran, a llarg termini, l'efectivitat de la gestió. Li i Sherman (2015) suggereixen pautes d'ubicació i disseny de trampes de sorra segons les morfologies que es vulgui aconseguir. Els</p>	<p>Les trampes de sorra han estat identificats durant les sortides de treball de camp. S'ha considerat que eren eficients, estables o ineficients a partir dels resultats obtinguts pels mateixos captadors d'arena. Per aquest propòsit s'ha comptat amb la opinió experta d'un restaurador dunar de llarga trajectòria i experiència professional (Roig-Munar com. pers.).</p>	<p>Observació durant les sortides de treball de camp</p>	<p>Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999)</p>

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
	mateixos autors adverteixen que l'alçada i la porositat de les tanques són els factors clau que controlen el flux eòlic i l'acumulació de sediment. En un segon ordre de factors situen la geometria i l'orientació i la distribució de la porositat de la tanca per generar morfologies dunars. Els fluxs eòlics i la rugositat de la superfície són elements de primer ordre a considerar alhora de dissenyar els captadors de sorra.			
6. Revegetació	El caràcter dinàmic de les dunes fa que una vegada restaurades tinguin una gran capacitat de regenerar-se, tant des d'un punt de vista geomorfològic com biològic (Gallego-Fernández et al., 2003). Hesp (2002, 1988) va estudiar àmpliament les dunes litorals i els seus estadis de degradació, establint que els escenaris d'erosió dunar es poden revertir mitjançant l'estabilització i revegetació de les morfologies erosives. Per tal que les replantacions contribueixin a la regeneració morfològica i ecològica del sistema dunar, les replantacions d'espècies pròpies d'ambients dunars han de seguir criteris geomorfològics i no sembrar-se sense cap tarannà. Això implica la plantació d'espècies pròpies de cada ambient al llarg del perfil dunar, així com reforçar els guanys sedimentaris assolits per mitjà de trampes d'interferència eòliques amb espècies propis d'entorns mòbils.	<p>S'han considerat i analitzat les tasques recents de revegetació, que han estat identificades per evidències de plantacions: presència de terra amb humus abundant al voltant de les arrels, disposició rectilínia del sembrat... Aquelles plantacions consolidades ja integrades amb la resta de sistema dunar, s'han obviat per a l'anàlisi d'aquesta variable.</p> <p>Les tasques de revegetació han estat identificats durant les sortides de treball de camp. S'ha considerat que eren adequades o inadequades segons si es troben dins l'ambient que els correspon i segons la taxa de mortalitat de la sembra. La supervivència de les plantacions s'ha observat a camp, així com també s'ha preguntat a les entrevistades realitzades als ajuntaments.</p>	Observació durant les sortides de treball de camp i entrevistes als ajuntaments, als parcs naturals o als consorcis i entitats supramunicipals	Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
7. Neteja mecànica / anivellació de la platja seca en temporada alta	L'anivellament i neteja mecànica de les platges suposa una alteració tant des del punt de vista morfològic del perfil platja-duna com des del punt de vista biològic. L'acció mecànica no només implica la retirada de deixalles, sinó que també suposa l'eliminació involuntària de propàguls de vegetació dunar i organismes morts a la deriva, així com la mort d'organismes per aixafament (Brown & McLachlan, 2002; Defeo et al., 2009; McLachlan & Defeo, 2018c; Nordstrom, 2000). La morfologia de la platja també queda alterada amb l'aplanament de la platja seca al disminuir la rugositat natural de la platja alta i augmentar la superfície en contacte amb l'acció erosiva del vent. També, s'eliminen les dunes incipients situades al peu de la duna frontal i s'impedeix la formació de noves morfologies dunar. Fins i tot, es descalça el talús dunar alterant el perfil platja-duna i l'intercanvi de sediment a la zona litoral activa (Roig-Munar, 2004), alterant la corba de sensibilitat ambiental del sistema (Roig-Munar, Martín-Prieto, et al., 2019). Pilkey et al. (2011) relacionen la neteja mecànica diària amb la pèrdua d'alçada de les platges i, per tant, amb l'erosió general del sistema.	La freqüència de pas de la maquinària anivelladora s'ha consultat a les entrevistes realitzades als ajuntaments. Durant les sortides de treball de camp s'ha determinat si les accions de neteja es realitzen o no arran del sistema dunar.	Observació durant les sortides de treball de camp i entrevistes als ajuntaments, als parcs naturals o als consorcis i entitats supramunicipals	García-Mora et al. (2001) Roig-Munar et al. (2006) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018) Ciccarelli et al. (2017)
8. Eradicació d'espècies invasores	Les plantes invasores són les principals responsables d'alterar l'ecosistema, la morfologia i el paisatge dunar. En primer lloc, les arrels de les plantes adaptades a l'enterrament faciliten el creixement dunar i la mobilitat de les dunes, mentre que les plantes invasores, en general mancades d'aquesta habilitat, aplanen la superfície dunar i restringeixen la mobilitat del relleu. En segon lloc, les plantes invasores disminueixen la biodiversitat, alteren les funcions dels hàbitats i interfereixen en el procés de la zonació natural d'ambients a causa de l'extensió monoespecífica de la invasió. En tercer lloc, les invasions d'espècies canvien l'aparença general del paisatge dunar restant valor per als usos recreatius i de conservació (del Vecchio et al., 2016; Lubke, 2004; Malvasi et al., 2016; Martínez & García-Franco, 2004; McLachlan & Defeo,	L'eradicació d'espècies invasores s'ha consultat a les entrevistes realitzades als ajuntaments. Durant les sortides de treball de camp s'ha determinat si les accions d'eradicació són efectives o no, a partir del nombre d'espècies invasores i de la seva abundància dins l'hàbitat dunar.	Observació durant les sortides de treball de camp i entrevistes als ajuntaments, als parcs naturals o als consorcis i entitats supramunicipals	

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
	2018c; Nordstrom, 1994; Panareda & Pintó, 2015).			
9. Superfície de serveis i equipaments temporals damunt o a menys de 5 metres de les dunes*	La superfície ocupada per serveis i equipaments temporals o fixos suposen un impacte en el sistema dunar, concretament en l'espai de <i>foredune</i> , així com també impedeixen el desenvolupament de les dunes incipients. Per a l'emplaçament d'aquestes instal·lacions cal eradicar una determinada franja de <i>foredune</i> , fet que suposa una disminució en l'hàbitat i en les morfologies dunars.	La superfície ocupada per serveis i equipaments temporals damunt o a menys de 5 m de les dunes s'ha determinat mitjançant entrevistes als ajuntaments, així com la consulta de documentació municipal que reuneix els usos i serveis de temporada a les platges. La superfície ocupada pels serveis temporals s'ha cartografiat i calculat amb programari SIG (QGIS v.3.4).	Entrevistes als ajuntaments, als parcs naturals o als consorcis i entitats supramunicipals. Consulta del "Pla de distribució d'usos i serveis de temporada de les platges" de cada ajuntament i delimitació cartogràfica en ortofotomapes: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	Laranjeira et al. (1999) García-Mora et al. (2001) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018) Ciccarelli et al. (2017)
10. Superfície d'aparcaments o altres serveis fixos damunt o a menys de 5 metres de les dunes*	Al marge de la destrucció de l'hàbitat dunar, Gómez-Pina et al. (2002), Roig-Munar et al. (2018) i Nordstrom (2008) estableixen que la instal·lació de serveis arran de la <i>foredune</i> crea deflació eòlica i erosiona les morfologies dunars que es troben a sotavent de guinguetes o equipaments similars.	La superfície ocupada per serveis i equipaments fixos damunt o a menys de 5 m de les dunes s'ha determinat mitjançant entrevistes als ajuntaments, així com la observació durant les campanyes de treball de camp. La superfície ocupada aquestes instal·lacions s'ha cartografiat i calculat amb programari SIG (QGIS v.3.4).	Entrevistes als ajuntaments, als parcs naturals o als consorcis i entitats supramunicipals. Observació durant les sortides de treball de camp i delimitació cartogràfica en ortofotomapes: Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999) García-Mora et al. (2001) Roig-Munar et al. (2006) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018) Ciccarelli et al. (2017)
11. Protecció del sistema i de l'entorn immediat	Els espais naturals protegits s'han considerat favorables al desenvolupament dunar ja que dins d'aquest entorn es fomenta la conservació dels espais naturals i, entre ells, les dunes. Les entitats responsables d'aquests entorns, en el cas que ens ocupa solen ser els Parcs Naturals, gestionen la superfície dunar i en solen acordonar el seu perímetre, així com gestionar el flux de persones a través de passarel·les.	La protecció del sistema i de l'entorn immediat s'ha calculat a partir del Pla d'Espais d'Interès Natural (Generalitat de Catalunya, 2019). L'espai PEIN s'ha descarregat en format <i>shapefile</i> (.shp) i se n'ha calculat l'àrea que ocupa en relació al	Pla d'Espais d'Interès Natural (Generalitat de Catalunya, 2019)	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Pintó et al. (2014) Laranjeira et al. (1999) Roig-Munar et al. (2006)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
		sistema platja-duna i als seus primers 500 metres d'influència: en concret, s'han utilitzat eines de geoprocessament a partir de programari SIG (QGIS v.3.4): <i>buffer</i> i <i>clip</i> .		
12. Grau de protecció segons la classificació de la IUCN (2019)	En relació a l'anterior variable, les restriccions al pas d'usuaris és més restrictiva contra més grau de protecció impliqui la figura. Així, en Reserves Naturals la protecció és més elevada que en Parcs Naturals, motiu pel qual se'ls ha atorgat més puntuació a les primeres figures que a les segones en la llista de control.	<p>S'ha determinat el tipus de protecció específica en cada cas segons la categoria dels Espais naturals de protecció especial disponibles al visor d'Espais naturals protegits de Catalunya.</p> <p>Les equivalències de les figures de protecció del litoral català respecte les de la IUCN, s'han determinat segons les característiques de cada figura, sobretot en funció dels usos permesos en cada categoria de protecció. aquesta informació està disponible al web de la IUCN i a la web de la Generalitat de Catalunya.</p> <p>Les equivalències estan disponibles a la Taula 8.</p>	<p>Consulta del visor d'Espais naturals protegits de Catalunya (Generalitat de Catalunya, 2019e)</p> <p>Consulta dels espais naturals de protecció especial (Generalitat de Catalunya, 2019c)</p> <p>Consulta del la IUCN (2019)</p>	<p>Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999) Roig-Munar et al. (2006)</p>

Annex 5. Justificació i mètode de càlcul per a les variables utilitzades a l'indicador SurLan (paisatge de l'entorn immediat de la platja). Les "referències bibliogràfiques" detallen estudis que han utilitzat les mateixes variables o molt semblants per al càlcul del desenvolupament dunar.

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
1. Espai urbanitzat en els 100 primers metres	Aquesta variable s'ha seleccionat com un indicador de la pressió antròpica actual. La presència d'un nucli d'habitants prop del sistema platja-duna afavoreix la freqüentació d'usuaris, alhora que dificulta l'emplaçament de morfologies dunars a la platja alta. Les platges urbanes prioritzen l'emplaçament de serveis i equipaments destinats als usos turístics, com ara guinguetes, dutxes, oferta recreativa o zones de vigilància i salvament. En general, aquests serveis i equipaments són relegats a la ubicació natural de l'hàbitat dunar. Amb això, s'ha ponderat negativament les platges urbanes i positivament les platges naturals.	L'extensió de l'espai urbanitzat s'ha cartografiat mitjançant ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4). Posteriorment s'ha calculat la superfície dels polígons en hectàrees.	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	Bodéré et al. (1991) Bodéré et al. (1994) Laranjeira et al. (1999) Pintó et al. (2014) Peña-Alonso et al. (2017) Peña-Alonso et al. (2018)
2. Impacte segons la qualificació del sòl en els 100 primers metres	Aquesta variable revela la fragilitat del sistema en un futur proper, en tant que detalla la superfície urbanitzada potencial. Així, a més de quantificar el grau d'urbanització de l'entorn de la platja, s'ha analitzat la qualificació del sòl que determinarà en un futur proper el desenvolupament de la zona. A més, també s'ha diferenciat entre superfície natural (espais de bosc/brolla) i conreus en espais no urbanitzables, i s'ha considerat més favorable per al desenvolupament dunar els espais naturals que els conreats.	Per tal de determinar les categories establertes en aquesta variable s'ha consultat la qualificació del sòl vigent en el planejament urbanístic Per a determinar si els espais no urbanitzables són agraris o no s'ha consultat ortofotomapes recents.	Mapa Urbanístic de Catalunya (Generalitat de Catalunya, 2019b) Plans d'Ordenació Urbana Municipal (POUM) Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	Williams et al. (1994) Davies et al. (1995) Laranjeira et al. (1999)
3. Rigidesa del sistema	Aquesta variable determina la mesura en què el sistema dunar es pot desplaçar cap a l'interior en episodis d'erosió de la platja. En aquest sentit, s'ha considerat que els usos que permeten l'evolució del sistema terra endins són els corresponents a sistemes naturals: espais de maresmes i llacunes, brolles o boscos i terrenys agrícoles. Tot i això, hi ha sistemes naturals que presenten certa rigidesa al tractar-se, per exemple, de costes rocoses o vessants boscoses de forta pendent. Així mateix, els usos urbans o els càntings no permetrien l'avanç de les dunes cap a l'interior, a menys que s'apliquin mesures de desconstrucció (hipòtesi no contemplada en	Mitjançant ortofotomapes visualitzades en programari SIG (QGIS v.3.4) s'ha identificat i cartografiat els usos rígids (urbanització, penya-segats i rocams) i els usos no rígids (maresmes, llacunes, brolles, boscos i terrenys agrícoles) i se n'ha calculat les hectàrees que	Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya: -Vol de Catalunya 2018 [Ortofotomapa] 1:2.500	Laranjeira et al. (1999)

Variable	Justificació	Mètode de càlcul	Fonts d'informació	Referències bibliogràfiques
	aquesta tesi).	ocupen respecte el conjunt del sistema.		

Annex 6. Platges amb morfologies dunars a la costa catalana. En relació a la transformació paisatgística s'especifica l'evolució de les morfologies dunars des del període 1890 – 1960 a l'actualitat: dunes que han disminuït d'extensió (●); dunes que han sofert canvis poc rellevants (●); dunes recuperades després d'un procés de destrucció de l'hàbitat (●); i dunes situades a platges de nova formació -desenvolupades a causa de l'alteració en el transport longitudinal vinculat a la construcció d'infraestructures paral·leles o perpendiculars a la costa- (●).

MUNICIPI	PLATJA	TIPUS DE DUNA	EVOLUCIÓ
Colera	de Garbet sector sud	Duna incipient o nebkes / Duna grimpadora en estructures naturals	●
	del Borró	Cordó dunar i dunes fixades: duna grimpadora en estructures naturals	●
	del Borró del mig	Cordó dunar amb rereduna	●
	del Borró d'enfora	Cordó dunar. Duna grimpadora en estructures naturals	●
Port de la Selva, el	de la cala Tavallera	Duna incipient o nebka	●
Cadaqués	del Portaló	Duna incipient o nebka	●
	de s'Àguila	Duna incipient o nebka. Duna grimpadora en estructures naturals	●
Roses	de Canyelles Grosses	Duna incipient o nebkar. Duna en rampa en estructures artificials	●
	de Canyelles Petites	Duna incipient o nebka. Duna grimpadora en estructures naturals	●
	del Rastell	Duna incipient o nebkar. Duna en rampa en estructures artificials	●
	del Salatar	Duna incipient o nebkar. Duna en rampa en estructures artificials	●
	de Santa Margarida	Duna incipient o nebkar. Duna en rampa en estructures artificials	●
Castelló d'Empúries	de la Rovina	Cordó dunar amb rereduna	●
	d'Empuriabrava	Duna incipient o nebka	●
Sant Pere Pescador	de can Comes	Cordó dunar amb rereduna	●
	de can Martinet	Cordó dunar amb rereduna	●
	de can Nera	Cordó dunar amb rereduna	●
	de can Sopa	Cordó dunar amb rereduna	●
	de cal Cristià sector nord	Cordó dunar amb rereduna	●
	de cal Cristià sector sud	Cordó dunar	●
	del Cortal de la Vila	Cordó dunar	●
	del Cortal de la Devesa	Cordó dunar	●
	del Riuet	Cordó dunar	●
l'Escala	d'Empúries nord	Cordó dunar i dunes fixades	●
	d'Empúries sud	Duna incipient o nebka i dunes fixades	●
	de Sant Martí	Cordó dunar	●
	de les Muscleres	Duna incipient o nebka	●
	del Portitxol	Cordó dunar	●
	del Rec del Molí	Cordó dunar	●
Torroella de Montgrí	de l'Estartit	Cordó dunar i dunes fixades	●
	dels Griells	Cordó dunar	●
	de la Pletera	Cordó dunar	●
	de la Fonollera	Cordó dunar amb rereduna	●

MUNICIPI	PLATJA	TIPUS DE DUNA	EVOLUCIÓ
Pals	de Pals sector nord	Cordó dunar amb rereduna	●
	de Pals sector sud	Cordó dunar amb rereduna	●
Begur	del Racó	Duna incipient o nebka	●
Palamós	del Castell	Duna incipient o nebka	●
	de la Fosca	Duna incipient o nebka. Duna grimpadora en estructures naturals	●
Sant Feliu de Guíxols	de Sant Pol	Cordó dunar	●
Lloret de Mar	de Santa Cristina	Duna incipient o nebka	●
Malgrat de Mar	del camí de la Pomereda	Duna incipient o nebka	●
Santa Susanna	de les Dunes	Duna incipient o nebka	●
Canet de Mar	del Pla	Cordó dunar	●
Arenys de Mar	del Cavalló	Duna incipient	●
Sant Vicenç de Montalt	de Sant Vicenç	Duna incipient	●
Mataró	del Varador	Duna incipient	●
Cabrera de Mar	de Cabrera	Cordó dunar	●
Vilassar de Mar	de Ponent	Cordó dunar	●
Premià de Mar	de Llevant	Duna incipient	●
el Prat de Llobregat	de ca l'Arana	Cordó dunar amb rereduna	●
	del Semàfor	Cordó dunar	●
	del Prat	Cordó dunar amb rereduna i dunes fixades	●
Viladecans	del Remolar	Cordó dunar amb rereduna i dunes fixades	●
	de la Pineda	Cordó dunar amb rereduna i dunes fixades	●
Gavà	de Gavà sector nord	Cordó dunar amb rereduna i dunes fixades	●
	de Gavà sector sud	Cordó dunar	●
Castelldefels	de Castelldefels sector est	Cordó dunar amb rereduna	●
	de Castelldefels sector central	Cordó dunar amb rereduna o Duna situada a l'interior d'estructures urbanes	●
	de Castelldefels sector oest	Cordó dunar amb rereduna	●
Sitges	de Covafumada	Cordó dunar amb rereduna	●
	de la cala la Ginesta	Cordó dunar	●
Vilanova i la Geltrú	de Sant Cristòfol	Cordó dunar	●
	de Ribes Roges	Duna incipient o nebka	●
	Llarga de Vilanova i la Geltrú	Cordó dunar amb rereduna	●
Cubelles	Llarga de Cubelles	Cordó dunar	●
	de la Mora de Sant Pere	Cordó dunar	●
	de les Salines	Cordó dunar amb rereduna	●
	de les Gavines	Cordó dunar amb rereduna. Duna situada a l'interior d'estructures urbanes	●
Cunit	de Cunit	Cordó dunar	●
Calafell	de Segur	Cordó dunar	●
el Vendrell	de les Madrigueres	Duna incipient o nebka	●
	del Francàs	Cordó dunar amb rereduna	●
Roda de Barà	de cal Guinovart	Cordó dunar	●
	de la Pelliceta	Duna incipient o nebkar. Duna en rampa en estructures artificials	●

MUNICIPI	PLATJA	TIPUS DE DUNA	EVOLUCIÓ
	de Berà	Cordó dunar amb rereduna	●
Creixell	de Creixell sector nord	Cordó dunar	●
	de Creixell sector central	Cordó dunar amb rereduna	●
	de Creixell sector sud	Cordó dunar	●
Torredembarra	dels Muntanyans	Cordó dunar amb rereduna	●
	de la Paella	Cordó dunar	●
Tarragona	de Tamarit	Cordó dunar	●
	de la Móra	Cordó dunar	●
	Llarga de Tarragona	Cordó dunar, cordó dunar amb rereduna i dunes fixades	●
	de la Savinosa	Duna incipient o nebka	●
Vila-seca	de la Pineda	Cordó dunar. Duna en rampa en estructures artificials	●
Salou	Llarga de Salou	Cordó dunar. Duna grimpadora en estructures naturals i dunes fixades	●
Cambrils	de l'Horta de Santa Maria	Cordó dunar	●
Mont-roig del Camp	de Rifà sector sud	Cordó dunar	●
	de la Casa dels Lladres	Cordó dunar	●
	de l'Estany Gelat	Cordó dunar	●
	de la cala de les Sirenes	Cordó dunar	●
	de la cala del Solitari	Cordó dunar	●
	de la cala Bot	Cordó dunar	●
	de Cristall	Cordó dunar: Duna en rampa en estructures naturals i artificials	●
	de la Punta del Riu	Duna incipient o nebka	●
Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant	de l'Arenal sector nord	Duna incipient o nebka	●
	de l'Arenal sector sud	Cordó dunar amb rereduna	●
	de la cala Bea	Cordó dunar. Duna grimpadora en estructures naturals	●
	del Torn sector nord	Cordó dunar. Duna grimpadora en estructures naturals	●
	del Torn sector sud	Cordó dunar amb rereduna. Duna grimpadora en estructures naturals	●
	de la cala Justell	Cordó dunar amb rereduna. Duna grimpadora en estructures naturals	●
	de la cala Ronyosa	Cordó dunar. Duna en rampa en estructures naturals	●
	de l'Almadrava	Cordó dunar. Duna en rampa en estructures artificials	●
l'Ametlla de Mar	de Calafat	Cordó dunar. Duna en rampa en estructures artificials	●
	del Calafató	Cordó dunar. Duna grimpadora en estructures naturals	●
	de Ribellet	Cordó dunar	●
	de Sant Jordi	Cordó dunar. Duna al cim d'un penya-segat	●
	de la cala Forn	Duna incipient o nebka. Duna grimpadora en estructures naturals	●
	de l'Estany Tort	Duna incipient o nebka. Duna grimpadora en estructures naturals	●
l'Ampolla	del Cap Roig	Cordó dunar	●
	de l'Arenal	Cordó dunar	●
	del Goleró	Cordó dunar amb rereduna	●
Deltebre	de la punta del Fangar	Camp dunar	●
	de la Marquesa	Cordó dunar	●
	de la Bassa de l'Arena	Cordó dunar amb rereduna	●

MUNICIPI	PLATJA	TIPUS DE DUNA	EVOLUCIÓ
	de Sant Antoni	Cordó dunar amb rereduna	●
	de Riumar	Camp dunar	●
	el Garxal	Camp dunar	●
Sant Jaume d'Enveja	de l'Argilet	Cordó dunar amb rereduna	●
	de Buda	Cordó dunar amb rereduna	●
	de l'Alfacada	Cordó dunar	●
	la Platjola	Cordó dunar	●
Amposta	dels Eucaliptus	Duna incipient o nebka	●
	de l'Aluet	Duna incipient o nebka	●
Sant Carles de la Ràpita	del Trabucador	Duna incipient o nebka	●
	de la Barra del Trabucador	Duna incipient o nebka	●
	de la punta de la Banya	Camp dunar	●

Annex 7. Tipus de transformació de les morfologies dunars i canvi d'usos del sòl a l'entorn de la platja. Les 202 platges on s'ha identificat dunes en el passat (entre 1890 i 1960) estan ordenades de nord a sud

Província	Municipi	Platja	Tipus de canvi	Entorn Passat	Entorn actual
Girona	Colera	de Garbet nord	Desaparició	Conreus	Aparcament
		de Garbet sud	Disminució	V. comunicació	V. comunicació
		del Borró	Pocs canvis	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		del Borró del mig	Pocs canvis	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		del Borró d'enfora	Pocs canvis	Roques	Roques
	Llançà	de Grifeu	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		de la Farella del Mig	Desaparició	Conreus	Bosc/brolla
	Port de la Selva, el	de la Ribera oest	Desaparició	V. comunicació	Aparcament
		de la Ribera est	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
		de la cala Tavallera	Pocs canvis	Bosc/brolla	Bosc/brolla
	Cadaqués	del Portaló	Pocs canvis	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de s'Àguila	Pocs canvis	Roques	Roques
		de Portlligat	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
	Roses	de la cala Montjoi	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		de Canyelles Grosses	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		de Canyelles Petites	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		del Rastell	Desaparició	Baixa densitat	Alta densitat
		del Salatar	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de Santa Margarida	Desaparició	Z. humides	Alta densitat
	Castelló d'Empúries	de la Rovina	Pocs canvis	Z. humides	Z. humides
		d'Empuriabrava	Desaparició	Z. humides	Alta densitat
		de can Comes	Disminució	Z. humides	Z. humides
		de can Martinet	Disminució	Z. humides	Z. humides
	Sant Pere Pescador	de can Nera	Disminució	Z. humides	Z. humides
		de can Sopa	Disminució	Conreus	Càmping
		de cal Cristià nord	Disminució	Conreus	Càmping
		de cal Cristià sud	Disminució	Conreus	Conreus
		del Cortal de la Vila	Disminució	Conreus	Conreus
		del Cortal de la Devesa	Disminució	Conreus	Càmping
		del Riuet nord	Pocs canvis	Conreus	Conreus
	l'Escala	d'Empúries nord	Pocs canvis	Conreus	Baixa densitat
		d'Empúries sud	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de Sant Martí	Disminució	Conreus	Escullera
		de les Muscleres	Desaparició	Bosc/brolla	Escullera
		del Portixol	Desaparició	Bosc/brolla	Baixa densitat
		del Rec del Molí	Disminució	V. comunicació	V. comunicació
		dels Riells	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
	Torroella de Montgrí	de la cala Montgó	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		de l'Estartit nord	Desaparició	Baixa densitat	Alta densitat
		de l'Estartit sud	Desaparició	Conreus	Aparcament
		dels Griells	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de la Pletera	Disminució	Z. humides	Z. humides

Província	Municipi	Platja	Tipus de canvi	Entorn Passat	Entorn actual
Barcelona	Pals	de la Fonollera	Disminució	Z. humides	Càmping
		de Pals nord	Disminució	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de Pals sud	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
	Begur	de sa Riera	Desaparició	Baixa densitat	Alta densitat
		de sa Tuna	Desaparició	Baixa densitat	Baixa densitat
		d'Aiguablava	Desaparició	Bosc/brolla	Baixa densitat
		del Racó	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
	Palamós	del Castell	Disminució	Conreus	Bosc/brolla
		de la Fosca	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		Gran de Palamós	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
	Calonge	des Monestri	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de Sant Antoni	Desaparició	Baixa densitat	Alta densitat
		de Torre Valentina	Desaparició	Conreus	Alta densitat
	Castell-Platja d'Aro	Gran d'Aro	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
	Sant Feliu de Guíxols	de Sant Feliu	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
		de Sant Pol	Disminució	V. comunicació	Alta densitat
	Tossa de Mar	de la cala Giverola	Desaparició	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de la Mar Menuda	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		Gran de Tossa	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
	Lloret de Mar	de sa Somera	Desaparició	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de Canyelles	Desaparició	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de Lloret	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
		de Fenals nord	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de Fenals sud	Desaparició	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de Santa Cristina	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		de Treumal	Desaparició	Bosc/brolla	Bosc/brolla
	Blanes	de la cala de St Francesc	Desaparició	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de Blanes	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
		de s'Abanell	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de la Punta de la Tordera nord	Desaparició	Conreus	Càmping
	Malgrat de Mar	de la Punta de la Tordera sud	Desaparició	Conreus	Càmping
		del camí de la Pomereda	Desaparició	Conreus	V. comunicació
		de Malgrat	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
	Santa Susanna	dels Pins	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
		de l'Astillero	Desaparició	V. comunicació	Baixa densitat
	Pineda de Mar	de les Dunes	Desaparició	V. comunicació	V. comunicació
	Calella	de Pineda	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
		Gran de Calella	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
	Sant Pol de Mar	de Garbí	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
		de can Villar del Grau	Desaparició	V. comunicació	V. comunicació
	Canet de Mar	de la Murtra	Desaparició	V. comunicació	V. comunicació
		de Pla	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
Arenys de Mar	del Cavalló	Desaparició	V. comunicació	Aparcament	
Caldes d'Estrac	de la Riera Caldetes	Desaparició	Baixa densitat	Baixa densitat	

Província	Municipi	Platja	Tipus de canvi	Entorn Passat	Entorn actual
Tarragona	St Vicenç de Montalt	dels Tres Micos	Desaparició	Baixa densitat	Baixa densitat
		de Sant Vicenç	Desaparició	Baixa densitat	Baixa densitat
		de les Barques	Desaparició	V. comunicació	Baixa densitat
	Mataró	del Callao	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
		del Varador	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
		del port de Mataró	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
	Cabrera de Mar	de Cabrera	Desaparició	V. comunicació	Baixa densitat
	Vilassar de Mar	de Cabrera	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
		de Vilassar – de Ponent	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
	Premià de Mar	de Llevant	Desaparició	V. comunicació	Alta densitat
	Barcelona	Hemidelta nord del Llobregat	Desaparició	Conreus	Port
	el Prat de Llobregat	del Prat	Disminució	Conreus	Bosc/brolla
		Naturalista	Desaparició	Conreus	Bosc/brolla
		de ca l'Arana	Disminució	Z. humides	Z. humides
		del Semàfor	Disminució	Z. humides	Z. humides
	Viladecans	del Remolar	Disminució	Conreus	Bosc/brolla
		de la Pineda	Disminució	Conreus	Bosc/brolla
	Gavà	de Gavà nord	Disminució	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de Gavà sud	Disminució	Bosc/brolla	Baixa densitat
	Castelldefels	de Castelldefels nord	Disminució	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de Castelldefels central	Disminució	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de Castelldefels sud	Disminució	Bosc/brolla	Baixa densitat
	Sitges	de Covafumada	Disminució	Bosc/brolla	Alta densitat
		de la Ribera	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
		de la Bassa Rodona	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
		de la Barra	Desaparició	Baixa densitat	Baixa densitat
		de Terramar	Desaparició	Baixa densitat	Baixa densitat
	Vilanova i la Geltrú	de Sant Cristòfol	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		de Ribes Roges	Desaparició	Alta densitat	Alta densitat
		d'Adarró	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
		Platgeta de Sant Gervasi	Desaparició	Conreus	Baixa densitat
	Cubelles	Llarga	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		Llarga	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de la Móra de Sant Pere	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de les Salines	Desaparició	Conreus	V. comunicació
		de les Gavines	Desaparició	Conreus	Alta densitat
	Cunit	de Cunit	Desaparició	Conreus	Alta densitat
	Calafell	de Calafell	Desaparició	Baixa densitat	Alta densitat
		de l'Estany-el Mas Mel	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de Segur	Desaparició	Conreus	Alta densitat
	el Vendrell	de Coma-ruga	Desaparició	Baixa densitat	Alta densitat
		de les Madrigueres	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		del Francàs	Desaparició	Conreus	Alta densitat
	Roda de Berà	de cal Guinovart	Desaparició	Conreus	Alta densitat

Província	Municipi	Platja	Tipus de canvi	Entorn Passat	Entorn actual
		de Berà	Disminució	V. comunicació	Baixa densitat
	Creixell	de Creixell nord	Disminució	Conreus	Alta densitat
		de Creixell centre	Disminució	Z. humides	Bosc/brolla
		de Creixell sud	Disminució	Z. humides	Càmping
		de la Paella	Desaparició	Conreus	Alta densitat
	Torredembarra	del Barri Marítim	Desaparició	Baixa densitat	Alta densitat
		dels Muntanyans	Pocs canvis	Z. humides	Z. humides
	Altafulla	d'Altafulla	Desaparició	Conreus	Alta densitat
	Tarragona	Arrabassada	Desaparició	V. comunicació	V. comunicació
		de la Móra	Desaparició	Z. humides	Baixa densitat
		de la Savinosa	Disminució	V. comunicació	V. comunicació
		de Tamarit	Desaparició	Conreus	Càmping
		Llarga	Disminució	Conreus	Càmping
	Vila-seca	de la Pineda	Desaparició	Conreus	Alta densitat
	Salou	Llarga	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		dels Capellans	Desaparició	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de Llevant	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de Ponent	Desaparició	Baixa densitat	Alta densitat
	Cambrils	del cap de Sant Pere	Desaparició	Bosc/brolla	Alta densitat
		de Vilafortuny	Desaparició	Bosc/brolla	Alta densitat
		de l'Esquirol	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		del Prat d'en Forès	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		del Regueral	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de la Riera	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de l'Horta de Sta Maria	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de la Llosa	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de l'Ardiaca	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de la Pixerota nord	Desaparició	Conreus	Escullera
	Mont-roig del Camp	de Rifà sud	Desaparició	Conreus	Càmping
		dels Pilans	Desaparició	Conreus	Càmping
		de la Casa dels Lladres	Desaparició	Bosc/brolla	Càmping
		de l'Estany Salat	Pocs canvis	Z. humides	Z. humides
		dels Penyals	Desaparició	Bosc/brolla	Baixa densitat
		de la cala de les Sirenes	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de la cala del Solitari	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de la cala Bot	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de Cristall	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de la Punta del Riu	Disminució	Conreus	Alta densitat
	Vandellòs i l'Hospitalet de l'Infant	de la Punta del Riu	Desaparició	Conreus	Alta densitat
		de l'Arenal nord	Disminució	Conreus	Alta densitat
		de l'Arenal sud	Disminució	Conreus	Baixa densitat
		de la cala Bea	Disminució	Bosc/brolla	Baixa densitat
		del Torn nord	Pocs canvis	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		del Torn sud	Disminució	Bosc/brolla	Càmping
		de la cala Justell	Pocs canvis	V. comunicació	V. comunicació

Província	Municipi	Platja	Tipus de canvi	Entorn Passat	Entorn actual
		de la cala Ronyosa	Pocs canvis	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de l'Almadrava	Desaparició	Bosc/brolla	Baixa densitat
	l'Ametlla de Mar	de Calafató	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de Ribellet	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de Sant Jordi d'Alfama	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de la cala Forn	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		de l'Estany Tort	Disminució	Bosc/brolla	Bosc/brolla
		del cap Roig	Disminució	Conreus	Bosc/brolla
	l'Ampolla	de l'Arenal	Desaparició	Z. humides	Z. humides
		del Goleró	Desaparició	Conreus	Conreus
		de la punta del Fangar	Disminució	Badia	Badia
	Deltebre	del Fangar	Desaparició	Conreus	Conreus
		de la Marquesa	Disminució	Z. humides	Conreus
		de la Bassa de l'Arena	Disminució	Z. humides	Conreus
		de Riumar	Disminució	Conreus	Baixa densitat
		del Garxal	Disminució	Z. humides	Z. humides
		de Sant Antoni	Disminució	Z. humides	Z. humides
		de l'Argilet	Disminució	Z. humides	Z. humides
	Sant Jaume d'Enveja	de Buda	Disminució	Z. humides	Z. humides
		de l'Alfacada	Disminució	Z. humides	Z. humides
		la Platjola	Pocs canvis	Conreus	Conreus
	Amposta	dels Eucaliptus	Pocs canvis	Conreus	Conreus
		de l'Aluet	Pocs canvis	Z. humides	Z. humides
	Sant Carles de la Ràpita	de la Barra del Trabucador	Pocs canvis	Badia	Badia
		del Trabucador	Desaparició	Z. humides	Conreus
		de la punta de la Banya	Pocs canvis	Z. humides	Z. humides

Annex 8. Plantes de tipus III, plantes invasores i plantes ruderals del conjunt d'espècies identificades durant les sortides de treball de camp.

Plantes de tipus III segons García-Mora et al. (2001)

<i>Ammophila arenaria ssp. arundinacea</i>	<i>Euphorbia peplis</i>
<i>Cakile maritima ssp. maritima</i>	<i>Medicago marina</i>
<i>Calystegia soldanella</i>	<i>Otanthus maritimus</i>
<i>Cyperus capitatus</i>	<i>Pancratium maritimum</i>
<i>Elymus fractus</i>	<i>Polygonum maritimum</i>
<i>Eryngium maritimum</i>	<i>Salsola kali</i>
<i>Euphorbia paralias</i>	<i>Sporobolus pungens</i>

Plantes invasores segons Sanz et al. (2004)

<i>Acacia sp.</i>	<i>Conyza sp.</i>
<i>Ailanthus altissima</i>	<i>Oenothera biennis</i>
<i>Arctotheca calendula</i>	<i>Oenothera glazioviana</i>
<i>Agave americana</i>	<i>Panicum repens</i>
<i>Bidens sp.</i>	<i>Paronychia argentea</i>
<i>Carpobrotus edulis</i>	<i>Senecio inaequidens</i>
<i>Cuscuta campestris</i>	<i>Xanthium echinatum italicum</i>
<i>Cenchrus incertus</i>	

Plantes ruderals segons Bolos i Vigo (1984-2001)

<i>Ambrosia coronopifolia</i>	<i>Glaucium flavum</i>
<i>Anacyclus valentinus</i>	<i>Hordeum murinum</i>
<i>Arctotheca calendula</i>	<i>Inula viscosa</i>
<i>Atriplex sp.</i>	<i>Oenothera biennis</i>
<i>Avena sp.</i>	<i>Oryzopsis miliacea</i>
<i>Bidens sp.</i>	<i>Plantago coronopus</i>
<i>Brassica sp.</i>	<i>Plantago lagopus</i>
<i>Bromus diandrus</i>	<i>Rostraria cristata</i>
<i>Conyza sp.</i>	<i>Senecio inaequidens</i>
<i>Cynodon dactylon</i>	<i>Xanthium echinatum italicum</i>
<i>Chenopodium sp.</i>	

Annex 9. Valors establerts a les 35 variables escollits per als 50 casos d'estudi. Els llindars establerts per a cada variable estan detallats a la Taula 10.

Codi	Platja	StaDun											BeaPot									CoMan												SurLan		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1	2	3	4	5	6	7	8	9	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3
1	de Garbet sector sud	1	1	1	1	3	1	2	2	0	4	3	4	3	0	4	4	0	2	1	1	1	0	2	1	4	4	4	4	0	1	4	2	3	4	0
2	de la cala Borró	3	1	4	1	3	2	3	4	2	4	0	4	4	4	4	0	0	3	1	2	0	0	0	0	4	4	4	4	4	4	4	2	4	4	4
3	del Salatar	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4	2	2	3	2	4	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
4	de Sta Margarita	1	0	0	1	0	0	0	0	0	4	3	4	3	4	4	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
5	de la Rovina	3	3	4	1	1	1	1	4	4	3	2	2	3	4	4	4	4	4	4	2	4	1	3	0	0	0	4	0	1	4	3	3	4	4	
6	d'Empuriabrava	1	1	0	0	3	0	0	2	2	4	3	2	2	2	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0
7	de Can Comes	2	3	2	1	2	2	2	2	2	0	3	0	1	2	4	4	4	4	4	3	4	2	3	4	4	3	0	4	3	4	4	3	4	3	
8	de Can Martinet	2	2	1	4	1	1	0	2	2	2	2	4	1	2	4	4	4	4	4	2	0	0	3	4	4	2	0	4	2	4	3	4	4	4	
9	de Can Nera	2	1	1	1	2	1	1	2	2	3	3	4	1	2	4	4	4	4	4	2	0	1	4	4	4	2	4	4	4	4	3	4	3	4	
10	de Can Sopa	2	1	1	0	2	1	1	2	2	3	3	4	1	2	4	4	4	4	4	3	0	1	4	4	4	2	4	4	4	4	3	3	1	4	
11	de Cal Cristià	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	4	1	2	4	4	4	4	4	3	0	1	4	0	0	0	0	0	3	4	3	2	4	2	
12	del Cortal de la Vila	2	1	1	2	2	1	1	2	4	3	3	4	1	2	4	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	2	3	1	
13	del Cortal de la Devesa	2	1	1	4	1	1	1	2	2	1	1	4	0	2	4	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	3	0	2	0	
14	del Riuet	2	1	1	1	3	1	0	2	4	4	4	2	3	2	4	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	3	0	4	4	4	3	4	3	4	
15	dels Riells	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	2	3	4	4	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	
16	de la cala Montgó	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	2	1	4	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0	
17	de l'Estartit nord	2	1	0	2	3	0	0	2	0	4	4	4	2	2	4	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	de la Pletera	2	1	2	3	2	3	1	2	2	2	3	2	0	0	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	0	0	4	4	4	4	4	4	4	
19	de la Fonollera	3	3	4	4	2	1	2	4	4	2	1	4	2	0	4	4	4	4	4	2	4	2	4	0	4	1	0	0	3	4	4	2	1	2	
20	de Pals	3	4	4	4	3	1	3	4	4	2	1	4	3	0	4	4	4	3	4	2	4	2	4	0	4	1	0	0	4	4	4	2	1	2	
21	del Racó	2	0	0	1	1	0	0	2	2	3	1	4	2	0	4	4	0	0	4	2	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	2	1	0	
22	de sa Riera	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	2	4	4	4	4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	1	0		
23	del Castell	1	1	1	0	2	2	3	2	2	4	3	2	2	4	4	2	0	3	4	2	4	2	2	4	4	2	4	0	4	4	2	3	4	4	
24	de la cala Fosca	1	0	0	0	2	0	0	2	0	4	3	2	2	2	4	2	4	4	3	0	0	0	0	4	4	0	4	0	4	0	0	0	1	0	
25	de la Pomereda	1	1	2	0	4	0	0	0	0	1	2	2	2	0	0	4	0	0	4	0	0	2	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
26	del Cavalló	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	2	4	0	0	4	0	0	4	1	0	2	0	4	0	1	4	0	3	0	0	0	1	0	
27	de Llevant	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	1	0	0	4	2	1	4	0	0	0	0	4	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
28	del Prat	3	3	4	1	1	1	3	2	4	2	3	4	3	0	2	2	4	4	4	0	0	1	2	0	0	0	0	0	2	2	2	3	2	3	
29	de la Pineda	3	2	4	1	2	1	3	2	2	1	3	4	4	2	2	2	4	4	4	1	0	1	3	0	0	0	0	0	3	1	2	3	2	3	

30	de Gavà	3	1	4	1	2	1	2	2	4	1	2	0	3	2	2	2	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	0	0	4	0	4
31	de Castelldefels	3	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	4	4	2	2	2	4	4	4	4	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
32	de les Madrigueres	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	3	2	2	2	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
33	de Coma-ruga	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	3	2	2	2	4	4	4	4	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
34	de la Pelliceta	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	4	4	4	0	2	2	4	4	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	
35	de Berà	3	1	2	2	1	1	0	2	4	2	1	2	1	2	2	2	4	4	4	3	1	0	1	1	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	
36	de Creixell nord	3	1	4	2	2	1	1	2	4	1	0	2	4	2	2	2	4	4	4	3	1	0	1	2	0	0	0	0	4	3	2	2	0	0	0
37	dels Muntanyans	3	4	4	4	4	1	3	4	4	1	1	4	2	2	2	2	4	4	4	4	2	4	3	4	0	4	4	0	4	3	4	2	1	4	4
38	de la Paella	2	1	0	1	3	3	0	2	2	4	4	4	4	2	2	2	4	4	4	4	0	4	1	0	0	4	0	4	0	0	0	0	0	0	
39	de Tamarit	2	1	2	1	4	1	2	2	4	2	0	4	4	2	4	2	4	4	4	4	1	0	2	2	0	0	1	0	4	3	1	4	2	3	1
40	de la Móra	2	0	0	0	3	0	0	0	0	1	0	4	1	2	4	2	4	4	4	3	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	
41	Llarga	2	1	1	4	2	1	1	2	4	0	0	4	2	2	4	2	4	4	4	4	2	0	0	1	0	0	0	0	4	1	0	0	0	1	0
42	de l'Estany Gelat	2	1	1	2	2	2	3	2	2	2	2	4	3	2	2	2	4	4	1	4	2	0	0	0	4	4	3	0	0	3	1	2	2	4	2
43	de Cristall	2	1	0	2	1	1	2	2	0	4	4	4	3	2	2	2	2	3	4	4	1	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0	
44	de l'Arenal	2	1	2	0	4	1	2	2	2	0	0	4	2	2	4	2	4	4	0	4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1
45	del Torn	2	1	2	4	4	2	3	4	4	1	0	4	4	2	4	2	0	1	1	4	2	0	0	0	0	4	2	0	0	4	4	2	2	4	1
46	de la cala Justell	3	1	3	4	4	2	4	2	2	4	2	4	3	4	4	2	4	4	2	1	4	0	0	0	4	4	4	0	4	3	4	2	3	4	2
47	de St Jordi d'Alfama	2	1	1	1	1	1	0	2	2	3	3	4	2	2	4	2	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	3	2	4	
48	de la cala Forn	2	1	1	1	0	1	0	0	0	3	0	4	1	2	4	2	4	4	4	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	4	
49	del Fangar	4	4	4	4	4	1	4	2	2	3	2	4	0	4	4	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	
50	de Riumar	4	4	4	4	4	1	4	2	2	3	2	4	1	4	4	2	4	4	4	4	3	0	3	4	4	4	2	0	0	3	4	3	2	4	3

Referències bibliogràfiques

- Acosta, A., Ercole, S., Stanisci, A., Pillar, V. D. P., & Blasi, C. (2007). Coastal Vegetation Zonation and Dune Morphology in Some Mediterranean Ecosystems. *Journal of Coastal Research*, 236, 1518-1524. <https://doi.org/10.2112/05-0589.1>
- Almera, J., & Brossa, E. (1891). Mapa geològic y topogràfic de la provincia de Barcelona: región primera ó de contornos de la capital detallada [Mapa]. 1:40.000. Recuperat 27 juny 2016, de <http://cartotecadigital.icc.cat/cdm/landingpage/collection/catalunya>
- Alonso, Alcántara-Carrio, J., & Cabrera, L. (2002). Tourist Resorts and their Impact on Beach Erosion at Sotavento Beaches, Fuerteventura, Spain. *Journal of Coastal Research*, 7(36), 1-7. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3639.2012.00570.x>
- Alvarado-Aguilar, D., Jiménez, J. A., & Nicholls, R. J. (2012). Flood hazard and damage assessment in the Ebro Delta (NW Mediterranean) to relative sea level rise. *Natural Hazards*, 62(3), 1301-1321. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0149-x>
- Anfuso, G., Williams, A. T., Cabrera Hernández, J. A., & Pranzini, E. (2014). Coastal scenic assessment and tourism management in western Cuba. *Tourism Management*, 42, 307-320. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2013.12.001>
- Angiolini, C., Bonari, G., & Landi, M. (2018). Focal plant species and soil factors in Mediterranean coastal dunes: An undisclosed liaison? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 211, 248-258. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2017.06.001>
- Arens, S. M. (1996). Patterns of sand transport on vegetated foredunes. *Geomorphology*, 17(4), 339-350. [https://doi.org/10.1016/0169-555X\(96\)00016-5](https://doi.org/10.1016/0169-555X(96)00016-5)
- Arens, S. M., Baas, A. C. W., van Boxel, J. H., & Kalkman, C. (2001). Influence of reed stem density on foredune development. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(11), 1161-1176. <https://doi.org/10.1002/esp.257>
- Ariza, E. (2011). An analysis of beach management framework in Spain. Study case: the Catalan coast. *Journal of Coastal Conservation*, 15(4), 445-455. <https://doi.org/10.1007/s11852-010-0135-y>
- Ariza, E., Ballester, R., Rigall-i-Torrent, R., Saló, A., Roca, E., Villares, M., ... Sardá, R. (2012). On the relationship between quality, users' perception and economic valuation in NW Mediterranean beaches. *Ocean and Coastal Management*, 63, 55-66. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.04.002>
- Ariza, E., Jiménez, J. A., & Sardá, R. (2008). A critical assessment of beach management on the Catalan coast. *Ocean and Coastal Management*, 51(2), 141-160. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2007.02.009>
- Ariza, E., Jiménez, J. A., Sardá, R., Villares, M., Pintó, J., Fraguell, R., ... Fluvia, M. (2010). Proposal for an integral quality index for urban and urbanized beaches. *Environmental Management*, 45(5), 998-1013. <https://doi.org/10.1007/s00267-010-9472-8>
- Artigas, P. (1875). Bosquejo relativo a las dunas procedentes del Golfo de Rosas (Gerona). *Revista de Montes*, 8, 683-688.
- Artigas, P. (1880). Bosquejo forestal de los alrededores de Bagur (Gerona). *Revista de Montes*, 77, 145-151.
- Artigas, P. (1885a). *Memoria relativa a la excursión verificada por los alumnos de tercer año de la Escuela Especial de Ingenieros de Montes a los montes públicos, dunas y alcornocales de la provincia de Gerona por el verano de 1882*. Madrid: Imprenta de

Ricardo Rojas.

- Artigas, P. (1885b). *Memoria relativa a la execusión verificada por los alumnos de tercer año de la escuela especial de ingenieros de montes a los montes públicos, dunas y alcornocales de la provincia de Gerona*. Madrid: Imprenta de Moreno y Rojas.
- Attorre, F., Maggini, A., di Traglia, M., de Sanctis, M., & Vitale, M. (2013). A methodological approach for assessing the effects of disturbance factors on the conservation status of Mediterranean coastal dune systems. *Applied Vegetation Science*, 16(2), 333-342. <https://doi.org/10.1111/avsc.12002>
- Bagnold, R. A. (1941). *The physics of blown sand and desert dunes*. *The Astrophysical Journal*. London: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1086/157114>
- Bajocco, S., de Angelis, A., Perini, L., Ferrara, A., & Salvati, L. (2012). The Impact of Land Use/Land Cover Changes on Land Degradation Dynamics: A Mediterranean Case Study. *Environmental Management*, 49(5), 980-989. <https://doi.org/10.1007/s00267-012-9831-8>
- Banchini, S., Chelleri, L., Trujillo-Martínez, A. J., & Breton, F. (2009). New Directions in Beach Management in the Barcelona Metropolitan Area Coastal Systems (Catalonia, Spain). En A. T. Williams & A. Micallef (Ed.), *Beach Management. Principles & Practice* (p. 480). Sterling: Earthscan.
- Baños de Castelldefels, S. A. (1930). *Delimitació de la zona marítim-terrestre dins de l'expedient d'Obres Públiques previ a la fase d'urbanització [Plànol]*. Escala gràfica. Material cedit per l'Arxiu Municipal de Castelldefels.
- Barrio-Parra, F., & Rodríguez-Santalla, I. (2016). Cellular automata to understand the behaviour of beach-dune systems: Application to El Fangar Spit active dune system (Ebro delta, Spain). *Computers & Geosciences*, 93, 55-62. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2016.05.001>
- Barrio-Parra, F., Rodríguez-Santalla, I., Taborda, R., & Ribeiro, M. (2017). A Modeling Approach to Assess the Key Factors in the Evolution of Coastal Systems: the Ebro North Hemidelta Case. *Estuaries and Coasts*, 40(3), 758-772. <https://doi.org/10.1007/s12237-016-0183-0>
- Bartolomé, C., Alvarez, J., Vaquero, J., Costa, M., Casermeiro, M. A. Giraldo, J., & Zamora, J. (2005). *Los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General para la Biodiversidad.
- Bataller, J. R., & Vilaseca, S. (1923). Geología del Cap de Salou. *Butlletí del Centre Excursionista de Catalunya*, 336, 1-32.
- Bazzichetto, M., Malavasi, M., Acosta, A., & Carranza, M. L. (2016). How does dune morphology shape coastal EC habitats occurrence? A remote sensing approach using airborne LiDAR on the Mediterranean coast. *Ecological Indicators*, 71, 618-626. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.07.044>
- Bech, J., & Pérez Mateos, J. (1982). Mineralogía de la fracción arena de unos suelos del delta del Llobregat. *ARXIU de l'Escola d'Agricultura de Barcelona*, 4, 15-35. Recuperat de <http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099/8365/Article02.pdf?sequence=1>
- Bekes, F., & Folke, C. (1998). *Linking Social and Ecological Systems. Management Practices and Social Mechanisms for Building Resilience*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Beller, E. E., Downs, P. W., Grossinger, R. M., Orr, B. K., & Salomon, M. N. (2016). From past patterns to future potential: using historical ecology to inform river restoration on an

- intermittent California river. *Landscape Ecology*, 31(3), 581-600. <https://doi.org/10.1007/s10980-015-0264-7>
- Benassai, G. (2006). *Introduction to Coastal Dynamics and Shoreline Protection*. Milton Keynes: WIT Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Benavent, J. M., Collado, F., Martí, R. M., Muñoz, A., Quintana, A., Sánchez, A., & Vizcaino, A. (2004). *La restauración de las dunas litorales de la Devesa de l'Albufera de Valencia*. València: Ajuntament de València.
- Bernard, H. R. (2002). *State of the Science Ecological Indicators Report*. Unpublished draft prepared for the U.S. Environmental Protection Agency.
- Biondi, E., Blasi, C., Burrascano, S., Casavecchia, S., Copiz, R., Del Vico, E., ... Zivkovic, L. (2009). *Italian Interpretation Manual of the 92/43/EEC Directive habitats*. Italy: Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare.
- Bird, E. (1990). Classification of European dune coasts. En T. W. Bakker, P. D. Jungerius, & J. A. Klijn (Ed.), *Dunes of the European Coasts* (p. 15-18). Catena Supplements.
- Bird, E. (1996). *Beach management*. New York: Wiley.
- Bird, E. (2008). *Coastal Geomorphology: an introduction* (2n ed.). Chichester: John Wiley & Sons.
- Bodéré, J.-C., Cribb, R., Curr, R., Davies, P., Hallégouët, B., Meur, C., ... Yonh, C. (1994). Vulnérabilité des dunes littorales: mise au point d'une méthode d'évaluation. En *Défense des côtes ou protection de l'espace littoral, quelles perspectives?* Nantes: Université de Nantes.
- Bodéré, J.-C., Cribb, R., Curr, R., Davies, P., Hallégouët, B., Meur, C., ... Yoni, C. (1991). La gestion des milieux dunaires littoraux. Evolution de leur vulnérabilité à partir d'une liste de contrôle. Etude de cas dans le sud du Pays de Galles et en Bretagne occidentale. *Norois*, 151(1), 279-298.
- BOE. Ley 28/1969, de 26 de abril, sobre costas (1969). España.
- BOE. Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (1988). España.
- BOE. Resolución de 5 de mayo de 2000, de la Secretaría General de Medio Ambiente, por la que se formula declaración de impacto ambiental sobre el Plan Director del puerto de Barcelona, de la Autoridad Portuaria de Barcelona (2005). España.
- BOE. Real Decreto 1274/2011, de 16 de septiembre, por el que se aprueba el Plan estratégico del patrimonio natural y de la biodiversidad 2011-2017, en aplicación de la Ley 42/2007, de 13 de diciembre, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad (2011). España.
- BOE. Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas (2013). España.
- Boix, E., & Gustems, J. (2008). *Catalunya Cent Anys Enrere*. Barcelona: AUSA.
- Bolos, O., & Vigo, B. J. (1984 - 2001). *Flora dels Països Catalans*. Tots els volums. Barcelona: Barcino.
- Botero, C., Pereira, C., Tosic, M., & Manjarrez, G. (2015). Design of an index for monitoring the environmental quality of tourist beaches from a holistic approach. *Ocean and Coastal Management*, 108, 65-73. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.07.017>
- Brebbia, C. A., Benassai, G., & Rodríguez, G. R. (2009). *Coastal Processes*. WIT Press.
- Brémontier, N. (1797). *Mémoire sur les dunes et particulièrement sur celles qui se trouvent entre Bayonne et la pointe de Grave, à l'embouchure de la Gironde*. Paris: L'imprimerie

de la République.

- Brown, A. C., & McLachlan, A. (2002). Sandy shore ecosystems and the threats facing them: some predictions for the year 2025. *Environmental Conservation*, 29(01), 62-77. <https://doi.org/10.1017/S037689290200005X>
- Butler, R. W. (1980). The concept of a tourist area cycle of evolution: implications for management of resources. *The Canadian Geographer/Le Géographe canadien*, 24(1), 5-12.
- Cabello, P., Cuevas, J. L., & Ramos, E. (2007). 3D modelling of grain size distribution in Quaternary deltaic deposits (Llobregat Delta, NE Spain). *Geologica Acta*, 5(3), 231-244.
- Cambó, F. (1919). *Vuit mesos al Ministeri de Foment. Ma gestió ministerial* (Editorial). Barcelona.
- Carandell, J. (1937). *El Bajo Ampurdán. Ensayo Geográfico*. Girona: Diputación Provincial de Gerona (1978).
- Carandell, J. (1978). *El Bajo Ampurdán: ensayo geográfico*. Girona: Diputación Provincial.
- Carboni, M., Santoro, R., & Acosta, A. (2010). Are some communities of the coastal dune zonation more susceptible to alien plant invasion?, 3(2), 139-147. <https://doi.org/10.1093/jpe/rtp037>
- Carpio, A. J., Figueras, M., & Tortosa, F. S. (2017). Walkway on coastal dunes negatively affects mobility of the spiny-footed lizard *Acanthodactylus erythrurus*. *Animal Biodiversity and Conservation*, 40(2), 159-164. <https://doi.org/10.32800/abc.2017.40.0159>
- Carreras Candi, F. (1908 - 1918). *Geografia General de Catalunya*. Barcelona: Alberto Martín.
- Carter, R. W. G., Hesp, P. A., & Nordstrom, K. F. (1990). Erosional landforms in coastal dunes. En K. F. Nordstrom, N. P. Psuty, & R. W. G. Carter (Ed.), *Coastal dunes: form and process* (p. 217-250). Chichester: Wiley.
- Carter, R. W. G., Nordstrom, K. F., & Psuty, N. P. (1990). The study of coastal dunes. En K. F. Nordstrom, N. P. Psuty, & B. Carter (Ed.), *Coastal dunes. Form and Process* (p. 1-16). Chichester: Wiley and Sons.
- Carter, R. W. G., & Woodroffe, C. D. (1994). *Coastal evolution: Late Quaternary shoreline morphodynamics*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Castillo, S. A., & Moreno-Casasola, P. (1996). Coastal sand dune vegetation: An extreme case of species invasion. *Journal of Coastal Conservation*, 2(1), 13-22. <https://doi.org/10.1007/BF02743033>
- CE. Recommendation of the European Parliament and of the Council of 30 May 2002 concerning the implementation of Integrated Coastal Zone Management in Europe (2002). Unió Europea.
- CEC, (Commission of the European Communities). (1991). Data specifications, part 2: Habitats of the European Community. En *CORINE biotopes manual*. Luxemburg: Office for Official Publications of the European Communities.
- CEE. Council Directive 92/43/EEC of 21 May 1992 on the conservation of natural habitats and of wild fauna and flora (1992). European Union.
- Cervantes, O., & Espejel, I. (2008). Design of an integrated evaluation index for recreational beaches. *Ocean and Coastal Management*, 51(5), 410-419. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2008.01.007>
- Chevalier, M. (1928). *El paisatge de Catalunya*. Barcelona: Barcino.

- Chiocci, F. L., Ercilla, G., & Torres, J. (1997). Stratal architecture of Western Mediterranean margins as the result of the stacking of quaternary lowstand deposits below 'glacio-eustatic fluctuation base-level'. *Sedimentary Geology*, 112, 195-217. [https://doi.org/10.1016/S0037-0738\(97\)00120-6](https://doi.org/10.1016/S0037-0738(97)00120-6)
- Ciccarelli, D., Pinna, M. S., Alquini, F., Cogoni, D., Ruocco, M., Bacchetta, G., ... Fenu, G. (2017). Development of a coastal dune vulnerability index for Mediterranean ecosystems: A useful tool for coastal managers? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 187, 84-95. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2016.12.008>
- Ciccarelli, Daniela, & Bacaro, G. (2016). Quantifying plant species diversity in coastal dunes: a piece of help from spatially constrained rarefaction. *Folia Geobotanica*, 51(2), 129-141. <https://doi.org/10.1007/s12224-016-9249-9>
- Col·lecció L'Abans. (1996 - 2016). el Papiol: Efadós.
- Cori, B. (1999). Spatial dynamics of Mediterranean coastal regions. *Journal of Coastal Conservation*, 5(2), 105-112. <https://doi.org/10.1007/BF02802747>
- Costa, M. (1987). La vegetación. En *El medio ambiente en la Comunidad Valenciana* (p. 56-63). València: Generalitat Valenciana.
- Council of Europe. Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (1982). European Union.
- Cros, L. (1987). *Estudi sedimentològic dels dipòsits eòlics del Baix Empordà*. Universitat de Barcelona.
- Cros, L., & Serra, J. (1990). Las formas dunares del Baix Empordà (Girona). *Notes de Geografia Física*, 19, 45-56.
- Cros, L., & Serra, J. (1993). A complex dune system in Baix Empordà (Catalonia, Spain). *Geological Society*, (SI 72), 191-199.
- Crous, A., & Pintó, J. (2005). Análisis de la evolución de la línea de costa en la playa de la Marquesa (Delta del Ebro). En *Procesos geomorfológicos y erosión costera. Actas de la II Reunión de Geomorfología Litoral* (p. 139-154). Santiago de Compostela: Universidad de Santiago de Compostela.
- Curcó, A. (1990). La vegetació del Delta de l'Ebre (I): les comunitats dunars (Classe Amophiletea Br.-Bl. et Tx. 1943). *Butlletí del Parc Natural Delta de l'Ebre*, 5, 9-18.
- Curcó, A. (1996). La vegetació del delta de l'Ebre (II): les comunitats halòfiles i halonitròfiles (Classes Puccinellio-Salicornietea i Cakiletea maritima). *Folia Botanica Miscellanea*, 10, 113-139.
- Curcó, A. (2001). La vegetación del delta del Ebro (V): las comunidades helofíticas e higrófilas (Clases. *Lazaroa*, 22, 67-81.
- Curcó, A. (2007). *Flora vascular del delta de l'Ebre*. Barcelona: Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Curr, R., Koh, A., Edwards, E., Williams, A. T., & Davies, P. (2000). Assessing anthropogenic impact on Mediterranean sand dunes from aerial digital photography. *Journal of Coastal Conservation*, 6(1), 15-22. <https://doi.org/10.1007/BF02730463>
- Davidson-Arnott, R. (2010). *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Davies, P., Williams, A. T., & Curr, R. (1995). Davies et al 1995.pdf. *Journal of Coastal Conservation*, 1, 87-69.
- Davies, Peter, Williams, A. T., & Curr, R. (1995). Decision making in dune management:

- theory and practice. *Journal of Coastal Conservation*, 1, 87-96.
- Davis, R. A. (2013). Evolution of Coastal Landforms. En D. J. Sherman (Ed.), *Treatise on Geomorphology* (Vol. 10, p. 417-448). Elsevier.
- de Bolòs, O. (1967). Comunidades vegetales de las comarcas próximas al litoral situadas entre los ríos Llobregat y Segura. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes*, 38(1), 3-280.
- de Ferrer, J. (1895). *Proyecto de fijación y repoblación de las dunas procedentes del golfo de Rosas*. Madrid: Imprenta de Ricardo Rojas.
- de la Riva, E. G., Godoy, O., Castro-Díez, P., Gutiérrez-Cánovas, C., & Vilà, M. (2019). Functional and phylogenetic consequences of plant invasion for coastal native communities. *Journal of Vegetation Science*, 30(3), 510-520. <https://doi.org/10.1111/jvs.12748>
- de Lillis, M., Costanzo, L., Bianco, P., & Tinelli, A. (2004). Sustainability of sand dune restoration along the coast of the Tyrrhenian sea. *Journal of Coastal Conservation*, 10(1), 93-100. [https://doi.org/10.1652/1400-0350\(2004\)010\[0093:SOSDRA\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1652/1400-0350(2004)010[0093:SOSDRA]2.0.CO;2)
- de Luca, E., Novelli, C., Barbato, F., Menegoni, P., Iannetta, M., & Nascetti, G. (2011). Coastal dune systems and disturbance factors: Monitoring and analysis in central Italy. *Environmental Monitoring and Assessment*, 183(1-4), 437-450. <https://doi.org/10.1007/s10661-011-1931-z>
- Dean, R. G., & Dalrymple, R. A. (2004). *Coastal Processes with Engineering Applications*. Madrid: Cambridge University Press.
- DeConto, R. M., & Pollard, D. (2016). Contribution of Antarctica to past and future sea-level rise. *Nature*, 531(7596), 591-597. <https://doi.org/10.1038/nature17145>
- Defeo, O., McLachlan, A., Schoeman, D. S., Schlacher, T. A., Dugan, J., Jones, A., ... Scapini, F. (2009). Threats to sandy beach ecosystems: A review. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 81(1), 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2008.09.022>
- del Vecchio, S., Slaviero, A., Fantinato, E., & Buffa, G. (2016). The use of plant community attributes to detect habitat quality in coastal environments. *AoB Plants*, 8(8), plw040. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plw040>
- Delbaere, B. C. W. (1998). *Facts and figures on European biodiversity; state and trends 1998-1999*. Tilburg: European Centre for Nature Conservation.
- DOCG. Modificació del Pla director urbanístic del sistema costaner (PDUSC-1) i del Pla director urbanístic dels àmbits del sistema costaner integrats per sectors de sòl urbanitzable delimitat sense pla parcial (PDUSC-2), relativa a la modificació i a la unifica (2014). Catalunya.
- Doing, H. (1985). Coastal fore-dune zonation and succession in various parts of the world. *Vegetatio*, 61(1-3), 65-75. <https://doi.org/10.1007/BF00039811>
- Dolz, J., Gómez, M., & Nieto, J. (1997). El Ebro en el delta. *Revista de Obras Públicas*, 3368, 7-14.
- Douglas, I. (1990). Sediment transfer and siltation. En B. L. Turner, W. C. Clark, R. W. Kates, J. F. Richards, J. T. Matthews, & W. B. Meyer (Ed.), *The Earth as Transformed by Human Action* (p. 215-234). Cambridge: Cambridge University Press.
- Durán, R., Guillén, J., Ruiz, A., Jiménez, J. A., & Sagristà, E. (2016). Morphological changes, beach inundation and overwash caused by an extreme storm on a low-lying embayed beach bounded by a dune system (NW Mediterranean). *Geomorphology*, 274, 129-142. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2016.09.012>

- Edwards, T. L., Brandon, M. A., Durand, G., Edwards, N. R., Golledge, N. R., Holden, P. B., ... Wernecke, A. (2019). Revisiting Antarctic ice loss due to marine ice-cliff instability. *Nature*, 566(7742), 58-64. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0901-4>
- Egan, D., & Howell, E. A. (2001). *The Historical Ecology Handbook: a Restorationist's Guide to Reference Ecosystems*. Washington DC: Island Press.
- Ergin, A., Karasmen, E., Micallef, A., & Williams, A. T. (2010). A new methodology for evaluating coastal scenery: fuzzy logic systems. *Ocean Engineering*, 37, 583-591.
- Esteban, P. (1994). El delta del Llobregat, un espai natural periurbà. *Materials del Baix Llobregat*, (1), 30-36.
- European Commission. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy (2000). European Union.
- European Commission. (2013). *Interpretation Manual of European Union Habitats - EUR28*. [https://doi.org/10.1016/S0021-9290\(99\)00083-4](https://doi.org/10.1016/S0021-9290(99)00083-4)
- EXCELTUR. (2019). Exceltur. Recuperat 12 març 2019, de www.exceltur.org
- Fabbri, P. (1990). Tourism, recreation and coastal dunes of the Mediterranean. En J. M. Drees (Ed.), *Coastal dunes, recreation and planning* (p. 18-20). Leiden: EUCC.
- Faura-i-Sans, M. (1917). La muntanya de l'arena o les dunes de Salou. *Butlletí de l'Agrupació Excursionista de Reus*.
- Faura-i-Sans, M., & Vilaseca, S. (1920). Avenc del delta del Llobregat. *Institució Catalana d'Història Natural*, 20(5), 319-320.
- Fenu, G., & Carboni, M. (2013). Environmental Factors Influencing Coastal Vegetation Pattern: New Insights from the Mediterranean Basin, 493-508. <https://doi.org/10.1007/s12224-012-9141-1>
- Folch, R. (1981). 3.2. La línia litoral. En *La vegetació dels Països Catalans* (p. 217-235). Bar: Ketres.
- Font García, J., & Corominas Xifra, M. (2005). Noves aportacions al coneixement florístic de l'Empordà - IV. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, (Hgi 18154), 105-111.
- Font García, J., Gesti, J., Vilar, L., Juanola, M., & Viñas, X. (1998). Noves aportacions al coneixement florístic de l'Empordà-III. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, (66), 63-72.
- Font García, J., Vilar, L., Watt, S., Gesti, J., & Viñas, X. (1996). Noves aportacions al coneixement florístic de l'Empordà-II. *SCIENTIA gerundensis*, 22, 19-23.
- French, P. W. (2001). *Coastal Defences. Process, problems and solutions*. London & New York: Routledge.
- Frigola i Vidal, P. (1999). Gestió actual de les dunes. Actuacions i propostes de futur. *Papers del Montgrí*, 17(Sorra i Vent. Les dunes 100 anys després.), 56-72.
- Gallego-Fernández, J. B., García-Mora, M. R., & Ley, C. (2003). Restauración de ecosistemas dunares costeros. En J. M. Nicolau Ibarra, J. M. Rey Benayas, & T. Espigares Pinilla (Ed.), *Restauración de ecosistemas mediterráneos* (p. 157-172). Madrid: Universidad de Alcalá de Henares.
- 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), 1822-1832. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2011.06.017>
- Gàmez, D., Simó, J., Vázquez-Suñé, E., Salvany, J. M., & Carrera, J. (2005). Variación de las

- tasas de sedimentación en el Complejo Detrítico Superior del Delta del Llobregat (Barcelona): su relación con causas eustáticas, climáticas y antrópicas. *Geogaceta*, 38(2), 175-178.
- García-Lozano, C., Pintó, J., & Daunis-i-Estadella, P. (2018). Changes in coastal dune systems on the Catalan shoreline (Spain, NW Mediterranean Sea). Comparing dune landscapes between 1890 and 1960 with their current status. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 208, 235-247. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2018.05.004>
- García-Mora, M. R., Gallego-Fernández, J.B., Williams, A. T., & García-Novo, F. (2001). A coastal Dune Vulnerability classification. A case study of the SW Iberian Peninsula. *Journal of Coastal Research*, 17, 802-811.
- García-Morales, G., Arreola-Lizárraga, J. A., & Grano, P. R. (2018). Integrated Assessment of Recreational Quality and Carrying Capacity of an Urban Beach. *Coastal Management*, 46(4), 316-333. <https://doi.org/10.1080/08920753.2018.1474070>
- Garriga-Sintes, C., Martín-Prieto, J. A., Roig-Munar, F. X., & Rodríguez-Perea, A. (2017). Reactivación del sistema playa-duna de Tirant (N de Menorca) asociada a la falta de gestión y extracción de áridos. *Geo-Temas*, 17(IX Jornadas de Geomorfología litoral), 167-170.
- Gaston, K. J. (1994). What is rarity? En K. J. Gaston (Ed.), *Rarity. Population and Community Biology Series, Volume 13* (p. 1-21). Dordrecht: Springer.
- Géhu, J. M. (1985). *European dune and shoreline vegetation*. Strasbourg: Council of Europe. European Committee for the Conservation of Nature and Natural Resources.
- Generalitat de Catalunya. (2004). *Pla estratègic per a la gestió integrada de les zones costaneres de Catalunya*. Barcelona: Departament de Medi Ambient i Habitatge. Recuperat de <http://www.citeulike.org/user/LNCScatalogo/article/10236401?updated=1334769541&rejected=>
- Generalitat de Catalunya. (2015). *Manuales dels hàbitats de Catalunya*. Barcelona: Departament de Territori i Sostenibilitat.
- Generalitat de Catalunya. (2018). Contractació pública. Recuperat 17 maig 2019, de https://contractaciopublica.gencat.cat/ecofin_pscp/AppJava/awardnotice.pscp?reqCode=viewDcan&idDoc=35063042&lawType=2
- Generalitat de Catalunya. (2019a). Bcn Film Comission. Recuperat 18 maig 2019, de <http://www.bcnatfilmcommission.com/es/location/playa-de-riells>
- Generalitat de Catalunya. (2019b). El Pla d'espais d'interès natural de Catalunya - Departament de Territori i Sostenibilitat. Recuperat 20 gener 2019, de http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/patrimoni_natural/senp_catalunya/el_sistema/el_pla_despais_dinteres_natural_de_catalunya/
- Generalitat de Catalunya. (2019c). Els espais naturals de protecció especial - Departament de Territori i Sostenibilitat. Recuperat 1 febrer 2018, de http://mediambient.gencat.cat/ca/05_ambits_dactuacio/patrimoni_natural/senp_catalunya/el_sistema/els_espais_naturals_de_proteccio_especial/
- Generalitat de Catalunya. (2019d). Mapa Urbanístic de Catalunya - Departament de Territori i Sostenibilitat. Recuperat 20 gener 2019, de <http://dtes.gencat.cat/muc-visor/AppJava/home.do>
- Generalitat de Catalunya. (2019e). Visor d'Espais naturals protegits de Catalunya. Recuperat 1 febrer 2019, de <http://sig.gencat.cat/visors/enaturals.html>
- Germain, J., & Pino, J. (Ed.). (2018). *Els Sistemes Naturals del Delta del Llobregat*. Barcelona:

- Gesti, J. (1998). *El Poblament Vegetal dels Aiguamolls de l'Alt Empordà*. Universitat de Girona.
- Gesti, J. (2006). *El poblament vegetal dels Aiguamolls de l'Empordà: efectes de la creació del Parc Natural sobre la vegetació i propostes per a una gestió dels hàbitats*. Universitat de Girona.
- Gesti, J., & Vilar, L. (2002). La vegetació halòfila dels aiguamolls de l'Empordà. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 70, 21-40.
- Gil, R. (2005). *La vegetació i la freqüentació de l'espai natural «els Muntanyans»*.
- Gimmi, U., & Bürgi, M. (2007). Using Oral History and Forest Management Plans to Reconstruct Traditional Non-Timber Forest Uses in the Swiss Rhone Valley (Valais) Since the Late Nineteenth Century. *Environment and History*, 13, 211-246.
- Gobierno de España. (2005). *Hacia una gestión sostenible del litoral español*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Costas y Secretaría General para el Territorio y la Biodiversidad.
- Goldsmith, V. (1985a). Coastal dunes. En *Coastal Sedimentary Environments* (p. 303-378). New York: Springer-Verlag.
- Goldsmith, V. (1985b). Coastal sand dunes as geomorphological systems. En C. H. Gimingham, W. Ritchie, B. B. Willets, & A. J. Willis (Ed.), *Coastal and Dunes* (p. 3-15). Edingburgh.
- Golledge, N. R., Keller, E. D., Gomez, N., Naughten, K. A., Bernales, J., Trusel, L. D., & Edwards, T. L. (2019). Global environmental consequences of twenty-first-century ice-sheet melt. *Nature*, 566(7742), 65-72. <https://doi.org/10.1038/s41586-019-0889-9>
- Gómez-Pina, G., Muñoz-Pérez, J. J., Ramírez, J. L., & Ley, C. (2002). Sand dune management problems and techniques, Spain. *Journal of Coastal Research*, 332(36), 325-332. <https://doi.org/10.2112/1551-5036-36.sp1.325>
- González-Moreno, P., Pino, J., Cózar, A., García de Lomas, J., & Vilà, M. (2014). La influencia de la alteración del paisaje en las invasiónes por plantas exóticas. En R. Cámara Artigas, B. Rodríguez Pérez, & J. L. Muriel Gómez (Ed.), *Biogeografía de Sistemas Litorales. Dinámica y Conservación* (p. 59-63).
- González, V., Hoyo, R., Seguí, J. M., & Valverde, A. (2016). *Flora vascular del delta del Llobregat*. Barcelona: Institució Catalana d'Història Natural. Institut d'Estudis Catalans.
- González, V., Hoyo, R., & Valverde, A. (2006). Valoració de las poblacions d'*otanthus maritimus* (L.) Hoffmanns. & Link (compositae) al delta del Llobregat i revisió de la distribució de l'espècie a Catalunya. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, (74), 29-36. <https://doi.org/10.2436/bichn.vi.9064>
- Gouguet, L. (2017). *Guide de gestion des dunes et des plages associées*. Paris: Éditions Quae.
- Gracia, F. J. (2009). Grupo 2. Dunas marítimas y continentales. En AAVV (Ed.), *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino.
- Gracia, F. J., Sanjaume, E., Flor, G., Hernández-Calvento, L., Hernández-Cordero, A. I., & Gómez-Serrano, M. A. (2009). 2 Dunas marítimas y continentales. En AAVV (Ed.), *Bases ecológicas preliminares para la conservación de los tipos de hábitat de interés comunitario en España* (p. 106). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marítimo.

- Grafals-Soto, R. (2012). Effects of sand fences on coastal dune vegetation distribution. *Geomorphology*, 145-146, 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.12.004>
- Greenacre, M. (2007). *Correspondence Analysis in Practice* (2a ed.). Chapman & Hall/CRC.
- Grunewald, R., & Schubert, H. (2007). The definition of a new plant diversity index «H'dune» for assessing human damage on coastal dunes-Derived from the Shannon index of entropy H'. *Ecological Indicators*, 7(1), 1-21. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2005.09.003>
- Gual, I. (1996). La vegetació dels Muntanyans. *Recull de treballs*, (4), 55-64.
- Guillén, J., & Palanques, A. (1992). Sediment dynamics and hydrodynamics in the lower course of a river highly regulated by dams: the Ebro River. *Sedimentology*, 39(4), 567-579. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.1992.tb02137.x>
- Gutiérrez, C., Aixart, M., & Bertran, D. (2014). Sobre la presència d'Echium arenarium (Boraginaceae) a Catalunya. *Butlletí de la Institució Catalana d'Història Natural*, 78, 145-146.
- Heink, U., & Kowarik, I. (2010). What are indicators? On the definition of indicators in ecology and environmental planning. *Ecological Indicators*, 10(3), 584-593. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2009.09.009>
- Hendrick, L. E., & Copenheaver, C. a. (2009). Using Repeat Landscape Photography to Assess Vegetation Changes in Rural Communities of the Southern Appalachian Mountains in Virginia, USA. *Mountain Research and Development*, 29(1), 21-29. <https://doi.org/10.1659/mrd.1028>
- Hernández-Cordero, A. I., Hernández-Calvento, L., Hesp, P. A., & Pérez-Chacón, E. (2018). Geomorphological changes in an arid transgressive coastal dune field due to natural processes and human impacts. *Earth Surface Processes and Landforms*, 43(10). <https://doi.org/10.1002/esp.4382>
- Heslenfeld, P., Jungerius, P. D., & Klijn, J. A. (2004). European Coastal Dunes: Ecological Values, Threats, Opportunities and Policy Development. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 335-351). New York: Springer.
- Hesp, P. A. (1988). Morphology, dynamics and internal stratification of some established foredunes in southeast Australia. *Sedimentary Geology*, 55(1-2), 17-41. [https://doi.org/10.1016/0037-0738\(88\)90088-7](https://doi.org/10.1016/0037-0738(88)90088-7)
- Hesp, P. A. (1989). A review of biological and geomorphological processes involved in the initiation and development of incipient foredunes. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B. Biological Sciences*, 96(May), 181-201. <https://doi.org/10.1017/S0269727000010927>
- Hesp, P. A. (1991). Ecological processes and plant adaptations on coastal dunes. *Journal of Arid Environments*, 21(2), 165-191. [https://doi.org/10.1016/S0140-1963\(18\)30681-5](https://doi.org/10.1016/S0140-1963(18)30681-5)
- Hesp, P. A. (2002). Foredunes and blowouts: initiation, geomorphology and dynamics. *Geomorphology*, 48, 245-268. [https://doi.org/10.1016/S0169-555X\(02\)00184-8](https://doi.org/10.1016/S0169-555X(02)00184-8)
- Hesp, P. A. (2004). Tropical and Temperate Dun. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 29-49). New York: Springer.
- Hesp, P. A. (2013). Conceptual models of the evolution of transgressive dune field systems. *Geomorphology*, 199, 138-149.
- Hesp, P. A., & Martínez, M. L. (2007). Disturbance processes and dynamics in coastal dunes. En E. A. Johnson & K. Miyaniishi (Ed.), *Plant Disturbance Ecology* (p. 215_247). San Diego: Academic.

- Higgs, E., Falk, D. A., Guerrini, A., Hall, M., Harris, J., Hobbs, R. J., ... Throop, W. (2014). The changing role of history in restoration ecology. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(9), 499-506. <https://doi.org/10.1890/110267>
- Houser, C., & Ellis, J. (2013). Beach and Dune Interaction. En D. J. Sherman (Ed.), *Treatise on Geomorphology* (Vol. 10, p. 267-288). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00283-9>
- Hsu, T., Lin, T., & Tseng, I. (2007). Human impact on coastal erosion in Taiwan. *Journal of Coastal Research* 23, 961-973. *Journal of Coastal Research*, 25, 961-973.
- Huang, W. P., & Yim, J. Z. (2014). Sand dune restoration experiments at Bei-Men Coast, Taiwan. *Ecological Engineering*, 73, 409-420. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.09.038>
- Hunter, R. E., Richmond, B. M., & Alpha, T. R. (1983). Storm-controlled oblique dunes of the Oregon Coast. *Geological Society of America Bulletin*, 95, 1450-1465.
- Ibáñez, C., Sharpe, P. J., Day, J. W., Day, J. N., & Prat, N. (2010). Vertical Accretion and Relative Sea Level Rise in the Ebro Delta Wetlands (Catalonia, Spain). *Wetlands*, 30(5), 979-988. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0092-0>
- ICC. (2010). *Llibre Verd: Estat de la zona costanera a Catalunya*. (U. P. de B. i C. I. d'Investigació dels R. Costaners, Ed.). Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya i Generalitat de Catalunya.
- ICC, (Institut Cartogràfic de Catalunya). (2012). *Atles topogràfic-històric de Catalunya 1:50.000: primeres edicions dels fulls de Catalunya del mapa topogràfic de Espanya*. Barcelona: Institut Cartogràfic de Catalunya i Generalitat de Catalunya.
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2014a). *Vol de Catalunya [Ortofotomapa]. 1:2.500*. Barcelona: ICGC.
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2014b). *Vol del litoral català [Ortofotomapa]. 1:1.000*. Barcelona: ICGC.
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2015a). Cartoteca Digital. Recuperat 29 març 2015, de <http://cartotecadigital.icc.cat/cdm/search/searchterm/històric>
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2015b). *Vol de Catalunya [Ortofotomapa]. 1:2.500*. Barcelona: ICGC.
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2015c). *Vol del litoral català [Ortofotomapa]. 1:1.000*. Barcelona: ICGC.
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2016a). *Mapa geològic comarcal. 1:50.000*. Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, Departament de Medi Ambient i Habitatge, el Departament de Política Territorial i Obres Públiques, l'Institut Cartogràfic de Catalunya, l'Institut Geològic de Catalunya i l'Instituto Geológico y Minero de España.
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2016b). *Vol de Catalunya [Ortofotomapa]. 1:2.500*. Barcelona: ICGC.
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2018). *Vol de Catalunya [Ortofotomapa]. 1:2.500*. Barcelona: ICGC.
- ICGC, (Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya). (2019). Visor de l'evolució de la costa. Recuperat 22 maig 2019, de <https://visors.icgc.cat/costa/#18/41.64718/2.76960>
- IDESCAT. (2019). Institut d'Estadística de Catalunya. Recuperat 28 desembre 2017, de <https://www.idescat.cat/>

- IET, (Instituto de Estudios Turísticos). (2013). *Balance del turismo: Resultados de la actividad turística en España*. Madrid: Instituto de Estudios Turísticos, Ministerio de Industria, Energía y Turismo.
- Inden, R. I., & Moore, C. H. (1983). Beach Environment. En P. A. Scholler, D. G. . Bebout, & C. H. Moore (Ed.), *Carbonate Depositional Environments* (p. 211-240). Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists.
- IPCC. (1995). *Second assessment report of Working Group 1*. Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (2007). *Climate change 2007: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fourth assessment report of the Intergovernmental panel on climate change Intergovernmental Panel on Climate Change (AR4)*. (S. Solomon, D. Qin, & M. Manning, Ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- IPCC. (2013). *Climate change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (AR5)*. (T. F. Stocker, D. Qin, & G. K. Plattner, Ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- IUCN. (2019). International Union for Conservation of Nature. Recuperat 10 gener 2018, de <https://www.iucn.org/theme/protected-areas/about/protected-area-categories>
- Jackson, N. L., & Nordstrom, K. F. (2011). Aeolian sediment transport and landforms in managed coastal systems: A review. *Aeolian Research*, 3(2), 181-196. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2011.03.011>
- Jackson, N. L., Nordstrom, K. F., Feagin, R. A., & Smith, W. K. (2013). Coastal geomorphology and restoration. *Geomorphology*, 199, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.06.027>
- Janssen, J. A. M., Rodwell, J. S., García Criado, M., Gubbay, S., Haynes, T., Nieto, A., ... M., V. (2016). *European Red List of Habitats*. England: European Union. <https://doi.org/10.2779/091372>
- Jiménez, J. A. (1996). *Evolución costera en el Delta del Ebro. Un proceso a diferentes escalas de tiempo y espacio (Ph.D. tesi*. Barcelona: Universidad Politècnica de Catalunya.
- Jiménez, J. A., Gracia, V., Valdemoro, H. I., Mendoza, E. T., & Sánchez-Arcilla, A. (2011). Managing erosion-induced problems in NW Mediterranean urban beaches. *Ocean & Coastal Management*, 54(12), 907-918. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.05.003>
- Jiménez, J. A., & Sánchez-Arcilla, A. (1993). Medium-term coastal response at the Ebro delta, Spain. *Marine Geology*, 114(1-2), 105-118. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(93\)90042-T](https://doi.org/10.1016/0025-3227(93)90042-T)
- Jiménez, J. A., Sánchez-Arcilla, A., Valdemoro, H. I., Gracia, V., & Nieto, F. (1997). Processes reshaping the Ebro delta. *Marine Geology*, 144(1-3), 59-79. [https://doi.org/10.1016/S0025-3227\(97\)00076-5](https://doi.org/10.1016/S0025-3227(97)00076-5)
- Jiménez, J. A., Sanuy, M., Ballesteros, C., & Valdemoro, H. I. (2018). The Tordera Delta, a hotspot to storm impacts in the coast northwards of Barcelona (NW Mediterranean). *Coastal Engineering*, 134(August), 148-158. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2017.08.012>
- Jiménez, J. A., Sardá, R., Serra, J., Pintó, J., & Guillén, J. (2007). *Informe sobre la problemàtica actual de la playa de S'Abanell*. Blanes.
- Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., Bosom, E., Sánchez-Arcilla, A., & Nicholls, R. J. (2017). Impacts of sea-level rise-induced erosion on the Catalan coast. *Regional Environmental Change*, 17(2), 593-603. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-1052-x>

- Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., Gracia, V., Sole, F., Tonatiuh, E., Ariza, E., & Sánchez-arcilla, A. (2005). Evolución de las playas de Cataluña. Implicaciones para su gestión, 1-21.
- Judge, E. K., Overton, M. F., & Fisher, J. S. (2003). Vulnerability Indicators for Coastal Dunes. *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 129(6), 270-278. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-950X\(2003\)129:6\(270\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-950X(2003)129:6(270))
- Kith, M. (1955). Diversas características de los trabajos de regeneración de suelos, en los terrenos de dunas vivas, a base de su fijación y repoblación forestal. *Montes*, 65, 345-347.
- Klijn, J. A. (1990). The younger dunes in The Netherlands; chronology and causation. *Catena Supplement*, 18, 89-100.
- Kooijman, A. . (2004). Restoration in Coastal Dunes in The Netherlands. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 243-258). New York: Springer.
- Lancaster, N., Baas, A. C. W., & Sherman, D. J. (2013). Aeolian Geomorphology: Introduction. En D. J. Sherman (Ed.), *Treatise on Geomorphology* (p. 1-6). Elsevier.
- Landes en Vrac. (2019). Recuperat 15 maig 2019, de <http://landesenvrac.blogspot.com/2010/01/bremontier-oui-mais.html>
- Laranjeira, M., Pereira, A., & Williams, A. T. (1999). Comparison of two checklist methods for assessment of coastal dune vulnerability. *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 15, 259-268. Recuperat de http://www.ieo.es/publicaciones/boletin/pdfs/bol15/15_259-268.PDF
- Leatherman, S. P. (1997). Beach Rating: A Methodological Approach. *Journal of Coastal Research*, 13(1), 253-258.
- Lebart, L., Morineau, A., & Warwick, K. M. (1984). *Multivariate Descriptive Statistical Analysis (Correspondence Analysis and Related Techniques for Large Matrices)*. Chichester: Wiley and Sons.
- Ley, C., Gallego-Fernández, J. B., Vidal, C., Gallego-Fernández, J. B., & Vidal-Pascual, C. (2007). *Manual de Restauración de Dunas Costeras*. (Intergovernmental Panel on Climate Change, Ed.). Madrid: Ministerio de Medio Ambiente. Dirección General de Costas. Recuperat de https://www.cambridge.org/core/product/identifi er/CBO9781107415324A009/type/book_part
- Li, B., & Sherman, D. J. (2015). Aerodynamics and morphodynamics of sand fences: A review. *Aeolian Research*, 17, 33-48. <https://doi.org/10.1016/j.aeolia.2014.11.005>
- Lithgow, D., Martínez, M. L., & Gallego-Fernández, J.B. (2014). The “ReDune” index (Restoration of coastal Dunes Index) to assess the need and viability of coastal dune restoration. *Ecological Indicators*, 49, 178-187. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.10.017>
- Lithgow, D., Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J.B., Hesp, P. A., Flores, P., Gachuz, S., ... Álvarez-Molina, L. L. (2013). Linking restoration ecology with coastal dune restoration. *Geomorphology*, 199, 214-224. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2013.05.007>
- Lozoya, J. P., Sardá, R., & Jiménez, J. A. (2014). Users expectations and the need for differential beach management frameworks along the Costa Brava: Urban vs. natural protected beaches. *Land Use Policy*, 38, 397-414. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2013.12.001>
- Lubke, R. A. (2004). Vegetation Dynamics and Succession on Sand Dunes of the Eastern Coasts of Africa. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *2Coastal Dunes, Ecology and*

Conservation (p. 66-84). New York: Springer.

- Lucrezi, S., Saayman, M., & van der Merwe, P. (2016). An assessment tool for sandy beaches: A case study for integrating beach description, human dimension, and economic factors to identify priority management issues. *Ocean and Coastal Management*, 121, 1-22. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2015.12.003>
- Malavasi, M., Bartak, V., Carranza, M. L., Simova, P., & Acosta, A. (2018). Landscape pattern and plant biodiversity in Mediterranean coastal dune ecosystems: Do habitat loss and fragmentation really matter? *Journal of Biogeography*, 45(6), 1367-1377. <https://doi.org/10.1111/jbi.13215>
- Malavasi, M., Santoro, R., Cutini, M., Acosta, A., & Carranza, M. L. (2016). The impact of human pressure on landscape patterns and plant species richness in Mediterranean coastal dunes. *Plant Biosystems - An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 150(1), 73-82. <https://doi.org/10.1080/11263504.2014.913730>
- Malavasi, M., Santoro, R., Cutini, M., Acosta, A. T. R., & Carranza, M. L. (2013). What has happened to coastal dunes in the last half century? A multitemporal coastal landscape analysis in Central Italy. *Landscape and Urban Planning*, 119, 54-63. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.06.012>
- Maldonado, A. (1972). *El delta del Ebro: estudio sedimentológico y estratigráfico*. Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Marcenò, C., Guarino, R., Loidi, J., Herrera, M., Isermann, M., Knollová, I., ... Chytrý, M. (2018). Classification of European and Mediterranean coastal dune vegetation. *Applied Vegetation Science*, (March), 1-27. <https://doi.org/10.1111/avsc.12379>
- Marcos-Valiente, Ò. (1987). Canvis recents a la línia de costa del delta del Llobregat. *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, X(39), 45-72.
- Mariño, M. G. (1992). Implications of climatic change on the Ebro delta. En L. Jeftic, J. D. Milliman, & G. Sestini (Ed.), *Climatic Change and the Mediterranean* (p. 304-327). London: Edward Arnold.
- Marqués, M. A. (1966). Observaciones sobre el Cuaternario del delta del Llobregat (Barcelona). *Acta geológica hispánica*, 1(4), 9-12.
- Marqués, M. A. (1975). Las formaciones cuaternarias del delta del Llobregat. *Acta geológica hispánica*, 10(1), 21-28.
- Marqués, M. A. (1984). *Les formacions quaternàries del delta del Llobregat*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- Marqués, M. A., & Julià, R. (1983). Características geomorfológicas y evolución del medio litoral de la zona de Empuries (Girona). *Cadernos do Laboratorio Xeolóxico de Laxe*, 5, 155-164.
- Marqués, M. A., & Julià, R. (1988). St Pere Pescador beach-dune interaction. *Journal of Coastal Research*, (SI 3), 57-61.
- Marqués, M. A., & Julià, R. (2005). Evolución de la zona litoral del Empordà durante el último milenio. En *Geomorfologia Litoral i Quaternari. Homenatge a Vicenç M. Roselló i Verger* (p. 259-272). València: Universitat de València.
- Marqués, M. A., Julià, R., & Montaner, J. (2011). Las dunas de la costa norte catalana. En E. Sanjaume & F. J. Gracia (Ed.), *Las dunas en España* (p. 187-203). Cádiz: Sociedad Española de Geomorfología.
- Marqués, M. A., Julià, R., & Muntaner, J. (2011). Las dunas de la costa norte catalana. En E. Sanjaume & J. F. Gracia-Prieto (Ed.), *Las dunas en España* (p. 187-204). Cádiz: Sociedad

Española de Geomorfología.

- Marqués, M. A., Julià, R., Muntaner, J., & Montaner, J. (2011). Las dunas de la costa norte catalana. En E. Sanjaume & F. J. Gracia (Ed.), *Las dunas en España* (p. 187-203). Cádiz: Sociedad Española de Geomorfología.
- Marqués, M. A., Psuty, N. P., & Rodriguez, R. (2001). Neglected effects of eolian dynamics on artificial beach nourishment: The case of Riells, Spain. *Journal of Coastal Research*, 17(3), 694-704.
- Martí, C. (2005). *La transformació del paisatge litoral de la Costa Brava: anàlisi de l'evolució (1956-2003), Diagnosi de l'estat actual i prognosi de futur*. Universitat de Girona. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0186885>
- Martí, C., & Pintó, J. (2002). El paisatge litoral del paratge de Castell. *Revista de Girona*, 210, 24-35.
- Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J.B., García-Franco, J. G., Moctezuma, C., & Jiménez, C. D. (2006). Assessment of coastal dune vulnerability to natural and anthropogenic disturbances along the Gulf of Mexico. *Environmental Conservation*, 33(2), 109-117. <https://doi.org/10.1017/S0376892906002876>
- Martínez, M. L., Gallego-Fernández, J.B., & Hesp, P. A. (2013). *Restoration of Coastal Dunes*. London & New York: Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-33445-0>
- Martínez, M. L., & García-Franco, J. G. (2004). Plant-Plant Interactions in Coastal Dunes. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 205-220). New York: Springer.
- Martínez, M. L., Maun, M. A., & Psuty, N. P. (2004). The Fragility and Conservation of the World's Coastal Dunes: Geomorphological, Ecological and Socioeconomic Perspectives. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 355-370). London & New York: Springer.
- Martínez, M. L., & Psuty, N. P. (2004). *Coastal Dunes. Ecology and Conservation*. New York: Springer.
- Mas, J., Palli, L., & Bach, J. (1989). Geologia de la plana del Baix Empordà. *Estudis sobre el Baix Empordà*, 8, 5-43.
- Maun, M. A. (1998). Adaptations of plants to burial in coastal sand dunes. *Canadian Journal of Botany*, 76(5), 713-738. <https://doi.org/10.1139/b98-058>
- Maun, M. A. (2004). Burial of Plants as a Selective Force in Sand Dunes. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 119-135). New York: Springer.
- Maun, M. A. (2009). *The Biology of Coastal Sand Dunes*. New York: Oxford University Press.
- McKee, E. D., & Bigarella, J. J. (1979). Sedimentary Structures in dunes. *Geological Survey Professional Paper*, 1015(A Study of Global Sand Seas), 87-134.
- McLachlan, A., & Brown, A. C. (2006). *The Ecology of Sandy Shores. The Ecology of Sandy Shores*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-372569-1.X5000-9>
- McLachlan, A., & Defeo, O. (2018a). Climate Change. *The Ecology of Sandy Shores*, (2013), 421-450. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809467-9.00016-3>
- McLachlan, A., & Defeo, O. (2018b). Coastal Dune Ecosystems and Dune-Beach Interactions. En *The Ecology of Sandy Shores* (p. 309-329). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809467-9.00013-8>
- McLachlan, A., & Defeo, O. (2018c). Human Impacts. *The Ecology of Sandy Shores*.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809467-9.00015-1>

- McLachlan, A., & Defeo, O. (2018d). *Management and Conservation. The Ecology of Sandy Shores*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809467-9.00017-5>
- McLachlan, A., Defeo, O., Jaramillo, E., & Short, A. D. (2013). Sandy beach conservation and recreation: Guidelines for optimising management strategies for multi-purpose use. *Ocean and Coastal Management*, 71, 256-268. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.10.005>
- McLeman, R., Herold, S., Reljic, Z., Sawada, M., & McKenney, D. (2010). GIS-based modeling of drought and historical population change on the Canadian Prairies. *Journal of Historical Geography*, 36(1), 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.jhg.2009.04.003>
- Michelot, H., Bremond, L., & Starckman, P. (1727). Plan de la ville et port de Barcelone du fort Mont Jouy et l'etat ou ils etoient en 1697. Recuperat 25 març 2016, de <http://cartotecadigital.icc.cat/cdm/landingpage/collection/atles>
- Miller, T. E. (2015). Effects of disturbance on vegetation by sand accretion and erosion across coastal dune habitats on a barrier island. *AoB PLANTS*, 7(1), 1-10. <https://doi.org/10.1093/aobpla/plv003>
- Milliman, J. D., Quraishee, G. S., & Beg, M. A. A. (1984). Sediment discharge from the Insus River to the ocean. Past, present and future. En B. U. Haq & J. D. Milliman (Ed.), *Marine Geology and Oceanography of the Arabian Sea and Coastal Pakistan* (p. 65-70). New York: Van Nostrand Reinhold Co.
- Mir-Gual, M., Pons, G. X., Roig-Munar, F. X., & Martín-Prieto, J. Á. (2012). La Ley de Costas española: de su revisión a su grado de aplicación. En A. Rodríguez-Perea, G. X. Pons, F. X. Roig-Munar, J. A. Martín-Prieto, M. Mir-Gual, & J. A. Cabrera (Ed.), *La gestión integrada de playas y dunas: experiencias en Latinoamérica y Europa* (p. 105-122). Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Mira, F. (1907). Las dunas de Guardamar. En *Memorias de la SEHN* (p. 57-77).
- MMA, M. de M. A. (2019). Puertos del Estado. Recuperat 5 març 2018, de <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>
- Molina, J. L. (1999). Formacion de las dunas, problematica y tecnicas de fijación. *Papers del Montgrí*, 17(Sorra i Vent. Les dunes 100 anys després.), 10-25.
- Montaner, J. (1996). Evolució geològica d'una vall antiga. *Revista de Girona*, 177, 62-65.
- Montaner, J. (2010). *El flux hidrològic de la plana litoral del Baix Ter*. Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- Montaner, J., Julià, R., Castanyer, P., Tremoleda, J., Santos, M., Riera, S., ... Solà, J. (2014). El paleopaisatge fluvio-estuari d'Empúries. *Estudis del Baix Empordà*, 33, 11-53.
- Montaner, J., Julià, R., Marqués, M. A., Solà, J., Pons, P., & López, J. (2010). Canvis en la paleomorfologia i dinàmica fluvial del riu Ter des del darrer màxim glacial. *Estudis del Baix Empordà*, 29, 9-24. Recuperat de <http://www.raco.cat/index.php/EBE/article/view/273040>
- Montaner, J., Solà, J., Mas-pla, J., & Pallí, L. (1995). Geologia recent de la plana del Ter. *Estudis del Baix Empordà*, 14, 43-53.
- Montoto, A., Falqués, A., Iranzo, V., & Caballeria, M. (1996). Formes rítmiques a la barra del Trabucador: un model d'inesta bilita. *Revista de Física*, (2n semestre), 28-.
- Montoya-Montes, I., Sánchez-García, M. J., Alonso, I., Casamayor, M., & Santalla, I. R. (2019). Rocky Coast in Catalonia. En J. A. Morales (Ed.), *The Spanish Coastal Systems* (p. 93-113). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2_5

- Montserrat, P. (1955). *Flora de la Cordillera Litoral Catalana. Porción comprendida entre los ríos Besòs y Tordera*. Barcelona: Collectanea Botanica.
- Morris, B. L. R. (2012). Using Homestead Records and Aerial Photos to Investigate Historical Cultivation in the United States. *Rangelands*, 34(2), 12-17.
- Muñoz-Vallés, S., & Cambrollé, J. (2014). Successes and failures in the management of coastal dunes of SW Spain: Status analysis nine years after management decisions. *Ecological Engineering*, 71, 415-425. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.042>
- Nakhli, S. (2010). Pressions environnementales et nouvelles strategies de gestion sur le littoral marocain. *Méditerranée: Revue géographique des pays méditerranéens*, 115, 33-42.
- National Research Council. (2000). *Ecological Indicators for the Nation*. Washington DC: The National Academies Press.
- Nelson, C. H. (1990). Estimated post-Messinian sediment supply and sedimentation rates on the Ebro continental margin, Spain. *Marine Geology*, 95, 395-418.
- Nickling, W. G. (1986). The initiation of grain movement by wind. *Sedimentology*, 35(1 988), 499-511.
- Nordstrom, K. F. (1994). Beaches and dunes of developing coasts. *Progress in Physical Geography*, 18(4), 497-516.
- Nordstrom, K. F. (2000). *Beaches and Dunes of Developed Coasts*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nordstrom, K. F. (2008). *Beach and dune restoration*. Cambridge: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511535925>
- Nordstrom, K. F. (2013). *Developed Coasts. Treatise on Geomorphology* (Vol. 10). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00292-X>
- Nordstrom, K. F., Jackson, N. L., & De Butts, H. A. (2009). A Proactive Programme for Managing Beaches and Dunes on a Developed Coast: A Case Study of Avalon, New Jersey, USA. En A. T. Williams & A. Micallef (Ed.) (p. 307-316). London, Sterling: Earthscan.
- Nordstrom, K. F., Jackson, N. L., Kraus, N. C., Kana, T. W., Bearce, R., Bocamazo, L. M., ... de Butts, H. A. (2011). Enhancing geomorphic and biologic functions and values on backshores and dunes of developed shores: a review of opportunities and constraints. *Environmental Conservation*, 38(03), 288-302. <https://doi.org/10.1017/S0376892911000221>
- Nordstrom, K. F., Lampe, R., & Vandermark, L. M. (2000). Reestablishing Naturally Functioning Dunes on Developed Coasts. *Environmental Management*, 25(1), 37-51.
- Norton, W. (1984). *Historical analysis in geography*. Longman Sc & Tech.
- Novo, F. G., Barradas, M. C. D., Zunzunegui, M., Mora, R. G., Fernández, J. B. G., & Types, P. F. (2004). Plant Functional Types in Coastal Dune Habitats. *Coastal Dunes, Ecology and Conservation*, 171, 155-169. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-374739-6.00310-9>
- Padullés Cubino, J., Vila Subirós, J., & Barriocanal Lozano, C. (2015). Propagule pressure from invasive plant species in gardens in low-density suburban areas of the Costa Brava (Spain). *Urban Forestry & Urban Greening*, 14(4), 941-951. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2015.09.002>
- Palanques, A., Plana, F., & Maldonado, A. (1990). Recent influence of man on the Ebro margin sedimentation system, northwestern Mediterranean Sea. *Marine Geology*, 95, 247-263.

- Panareda, J. M., & Pintó, J. (2015). Dinámica de las plantas exóticas en los espacios dunares del delta del Llobregat (Barcelona). En J. De la Riva, P. Ibarra, R. Montorio, & M. Rodrigues (Ed.), *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación* (p. 1793-1802). Zaragoza: Universidad de Zaragoza-AGE.
- Pardo, J. E. (1991). *La erosión antrópica en el litoral valenciano*. València: Generalitat Valenciana.
- Patel-Weynand, T. (2002). *Biodiversity and sustainable forestry: State of the science review*. Washington DC.
- Paüll, V., & Panareda, J. M. (2018). Humedales, dunas y huertas a las puertas de Barcelona; claves paisajísticas y patrimoniales de los espacios abiertos del Delta del Llobregat. En F. Molinero, J. Tort, R. Mata, R. Silva, J. L. García, M. C. Porcal, & E. Ruiz (Ed.), *Paisajes Patrimoniales de España. Significado y valor del patrimonio territorial español* (p. 1114-1134). Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación - Ministerio Para la Transición Ecológica.
- Peña-Alonso, C., Fraile-Jurado, P., Hernández-Calvento, L., Pérez-Chacón, E., & Ariza, E. (2017). Measuring geomorphological vulnerability on beaches using a set of indicators (GVI): A tool for management. *Journal of Environmental Management*, 204, 230-245. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.08.053>
- Peña-Alonso, C., Gallego-Fernández, J. B., Hernández-Calvento, L., Hernández-Cordero, A. I., & Ariza, E. (2018). Assessing the geomorphological vulnerability of arid beach-dune systems. *Science of the Total Environment*, 635, 512-525. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.04.095>
- Peña-Alonso, C., Pérez-Chacón, E., Hernández-Calvento, L., & Ariza, E. (2018). Assessment of scenic, natural and cultural heritage for sustainable management of tourist beaches. A case study of Gran Canaria island (Spain). *Land Use Policy*, 72(December 2017), 35-45. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.030>
- Perdigó, M. T., & Papió, C. (1985). La vegetació litoral de Torredembarra. *Collecta Botanica*, 16, 215-226.
- Perry, G., & D' Miel, R. (1995). Urbanisation and sand dunes in Israel: direct indirect effects. *Israel Journal of Zoology*, 41(1), 33-41.
- Pilkey, O. H., Neal, W. J., Kelley, J. T., & Cooper, J. A. G. (2011). *The world's beaches*. Singapore: University of California Press. Recuperat de <https://www.ucpress.edu/book/9780520268722/the-worlds-beaches>
- Pino, J., Seguí, J. M., & Alvarez, N. (2006). Invasibility of four plant communities in the Llobregat delta (Catalonia, NE of Spain) in relation to their historical stability. *Hydrobiologia*, 570(1), 257-263. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0189-x>
- Pintó, J. (1999). El paisatge de dunes i maresmes de Torredembarra (Costa Daurada). En *Volum d'homenatge al geògraf professor Joan Vilà Valentí. Col·lecció Homenatges* (p. 1515-1528). Barcelona: Universidad de Barcelona.
- Pintó, J. (2012). El paisaje dunar en Cataluña. En A. Rodríguez-Perea, G. X. Pons, F. X. Roig-Munar, J. A. Martín-Prieto, M. Mir-Gual, & J. A. Cabrera (Ed.), *La gestión integrada de playas y dunas. Experiencias en Latinoamérica y Europa* (p. 349-363). Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Pintó, J., & Garcia-Lozano, C. (2016). Transformació històrica recent i situació actual del paisatge dunar a Catalunya. En F. X. Roig-Munar (Ed.), *Restauració i gestió de sistemes dunars. Estudi de casos* (p. 81-99). Palafrugell: Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.

- Pintó, J., Garcia-Lozano, C., & Roig-Munar, F. X. (2018). L'espai litoral. En R. Folch, J. Peñuelas, & D. Serrat (Ed.), *Natura: ús o abús?* Institució Catalana d'Història Natural. Institut d'Estudis Catalans. <https://doi.org/10.2436/15.0110.22.14>
- Pintó, J., Martí, C., & Fraguell, R. M. (2014). Assessing Current Conditions of Coastal Dune Systems of Mediterranean Developed Shores. *Journal of Coastal Research*, 30(4), 832. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-13-00116.1>
- Pintó, J., & Panareda, J. M. (2007). Changes in coastal dunes of Catalonia in the last 150 years. En ICCD 2007 . *International Conference on Management and Restoration of Coastal Dunes* (p. 128-135).
- Pintó, J., Panareda, J. M., & Martí, C. (2012). Fitogeografia de las dunas de la costa catalana. VII Congreso Español de Biogeografía, 132-138.
- Pintó, J., Panareda, J. M., & Martí, C. (2014). El Paisaje Vegetal De Las Dunas Del Delta Del Llobregat. En R. Cámara Artigas, B. Rodríguez Pérez, & J. L. Muriel Gómez (Ed.), *Biogeografía de Sistemas Litorales. Dinámica y Conservación* (p. 27-33). Sevilla: Universidad de Sevilla.
- Pintó, J., Panareda, J. M., Mas, R., & Carbó, S. (1997). Evolución del paisaje dunar en el Macizo de Begur. En *Dinámica litoral-Interior: Actas del XV Congreso de Geógrafos Españoles. Vol. 1* (p. 221-234). Santiago de Compostela: Asociación de Geógrafos Españoles.
- Pipió i Gelabert, H. (1998). Les dunes empordaneses. En *Llibre de la festa major de Torroella de Montgrí* (p. 111-120). Torroella de Montgrí: Ajuntament de Torroella de Montgrí.
- Pipió i Gelabert, H. (1999a). Ressenya històrica del procés de fixació de les dunes empordaneses. En *Sorra i Vent. Les dunes 100 anys després.* (p. 26-41). Museu de la Mediterrània.
- Pipió i Gelabert, H. (1999b). Ressenya històrica del procés de fixació de les dunes empordaneses. *Papers del Montgrí*, 17(Sorra i Vent. Les dunes 100 anys després.), 26-41.
- Pipió i Gelabert, H. (2008). Reseña histórica sobre las dunas del golfo de Roses. *Montes*, 95, 27-32.
- Pipió i Gelabert, H. (2013). Els Treballs De Fixació De Les Dunas. *Dossiers Agraris*, 16, 191-199. <https://doi.org/10.2436/20.1503.02.60>
- Pons, F. (2015). *El nuevo régimen jurídico de las costas. ¿Contribuirá de forma eficaz a la protección y al uso sostenible del litoral?* Cizur Menor: Thomson Reuters Aranzadi.
- Pons, F., & Garriga, C. (2016). Anàlisi de la incidència de la llei en la conservació dels sistemes platja-duna. La responsabilitat de l'administració en la seva gestió. En F. X. Roig-Munar (Ed.), *Restauració i gestió de sistemes dunars. Estudi de casos* (p. 11-33). Palafrugell: Càtedra d'Ecosistemes Litorals Mediterranis.
- Portz, Luana Manzolli, R. P., & Alcántara-Carrió, J. (2018). Dune System Restoration in Osório Municipality (Rio Grande do Sul, Brazil): Good Practices Based on Coastal Management Legislati. En C. Botero, O. Cervantes, & C. W. Finkl (Ed.), *Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies* (p. 41-58). Springer.
- Postma, R. (1989). Erosional trends along the cusped river-mouths in the Adriatic. En P. Fabbri (Ed.), *Coastlines of Italy* (p. 84-97). New York: American Society of Civil Engineers.
- Pranzini, E., Anfuso, G., & Botero, C. (2018). Nourishing Tourist Beaches. En C. Botero, O. Cervantes, & C. W. Finkl (Ed.), *Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies* (p. 293-317). Springer.

- Priestley, G. (2015). Baixa Mar de Torredembarra: Records dels anys 1960. *Recull de treballs*, 16, 100-131.
- Prieto, F., Alfonso, C., Guadill, S., Santamarta, J., & Avellaner, J. (2014). *Sostenibilidad en España 2014. SOS 14*. Madrid.
- Psuty, N. P. (1988). Beach/dune interactions. *Journal of Coastal Research*, SI(3).
- Psuty, N. P. (1989). An application of science to the management of coastal dunes along the Atlantic coast of the U.S.A. *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh. Section B. Biological Sciences*, 96, 289-307. <https://doi.org/10.1017/S0269727000010988>
- Psuty, N. P. (2004). The Coastal Fore-dune: A Morphological Basis for Regional Coastal Dune Developme. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 11-28). New York: Springer.
- Pye, K. (1990). Physical and human influences on coastal dune development between the Ribble and Mersey estuaries, northwest Englan. En K. F. Nordstrom, N. P. Psuty, & R. W. G. Carter (Ed.), *Coastal dunes. Form and Process* (p. 339-359). Chichester: Wiley.
- Pye, K., & Tsoar, H. (1990). *Aeolian sand and sand dunes*. London: Unwin Hyman.
- Rambaud, F. (2005). Reconstrucción de la línea de costa en el entorno de Ampurias. *Empúries*, 54, 59-70.
- Roberts, C. M., & Hawkins, J. P. (1999). Extinction risk in the sea. *Trends in Ecology and Evolution*, 14(6), 241-246.
- Rodella, I., Corbau, C., Simeoni, U., & Utizi, K. (2017). Assessment of the relationship between geomorphological evolution, carrying capacity and users' perception: Case studies in Emilia-Romagna (Italy). *Tourism Management*, 59, 7-22. <https://doi.org/10.1016/j.tourman.2016.07.009>
- Rodríguez-Revelo, N., Espejel, I., Arredondo García, C., Ojeda-Revah, L., & Sánchez-Vázquez, M. A. (2018). Environmental Services of Beaches and Coastal Sand Dunes as a Tool for Their Conservation. En C. Botero, O. Cervantes, & Charles W Finkl (Ed.), *Beach Management Tools - Concepts, Methodologies and Case Studies* (p. 75-100). Springer International Publishing AG.
- Rodríguez-Santalla, I. (2000). Evolución geomorfológica pasada y futura del Delta del Ebro. *Geo-Temas*, 1(1), 189-192.
- Rodríguez-Santalla, I., Gómez, D., Sánchez, M. J., Montoya-Montes, I., Martín-Crespo, T., Martín-Velázquez, S., ... Gracia, F. J. (2017). Comparación de la dinámica dunar entre las formaciones situadas en los hemideltas norte y sur del río Ebro. *Geo-Temas*, 17(IX Jornadas de Geomorfología Litoral), 287-290.
- Rodríguez-Santalla, I., Gracia, F. J., Pérez-Morales, C., Serra, J., Medialdea, A., & Barrio-Parra, F. (2015). Análisis de los cambios geomorfológicos ocurridos en la flecha de Los Alfaques (Delta del Ebro, Tarragona). *Geo-Temas*, 15(VIII Jornadas de Geomorfología litoral), 73-76.
- Rodríguez-Santalla, I., Sánchez, M. J., Montoya-Montes, I., Gómez-Ortiz, D., Martín-Crespo, T., & Serra, J. (2009). Internal structure of the aeolian sand dunes of El Fangar spit, Ebro Delta (Tarragona, Spain). *Geomorphology*, 104(3-4), 238-252. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2008.08.017>
- Rodríguez-Santalla, I., & Somoza, L. (2019). The Ebro River Delta. En J. A. Morales (Ed.), *The Spanish Coastal Systems Dynamic Processes, Sediments and Management* (p. 467-189). Switzerland: Springer Nature.
- Roig-Munar, F. X. (2004). Análisis y consecuencias de la modificación artificial del perfil

- playa-duna provocado por el efecto mecánico de su limpieza. *Investigaciones Geográficas*, 33(33), 87-103. <https://doi.org/10.14198/INGEO2004.33.07>
- Roig-Munar, F. X. (2005). Efectos de la retirada de bermas vegetales de *Posidonia oceanica* sobre playas de las islas Baleares: consecuencias de la presión turística. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía, UNAM*, Núm. 57, 40-52.
- Roig-Munar, F. X. (2011). *Aplicació de criteris geomorfològics en la gestió dels sistemes litorals arenosos de les Illes Balears*. Universitat de les Illes Balears.
- Roig-Munar, F. X., Altura, R., Ramos, S., Garcia-Lozano, C., Pintó, J., Martín-Prieto, J. A., ... Vicent, J. (2019). Análisis evolutivo de la morfología dunar de la Pletera (Girona, Catalunya) mediante sensores LiDAR y RGB (2010-2018). Barcelona.
- Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. A., Comas-Lamarca, E., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. Á., Comas-Lamarca, E., ... Rodríguez-Perea, A. (2006). Space-time Analysis (1956-2004) of human use and management of the Beach-Dune Systems of Menorca (Balearic Islands, Spain). *Journal of Coastal Research*, 48(SI), 107-111. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.2945.4805>
- Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. Á., Pintó, J., Ramos, S., Vicens, J., Rodríguez-Perea, A., ... Gelabert, B. (2018). Análisis de la evolución de los sistemas dunares del Alt y Baix Empordà (Costa Brava, Catalunya) mediante el uso de variables geomorfológicas y de gestión. En C. Garcia, L. Gómez-Pujol, E. Morán-Tejeda, & R. J. Batalla (Ed.), *Geomorfología del Antropoceno. Efectos del cambio global sobre los procesos geomorfológicos* (p. 169-174). Palma de Mallorca: Universitat de les Illes Balears, Sociedad Española de Geología.
- Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. Á., Pintó, J., Rodríguez-Perea, A., & Gelabert, B. (2019). Coastal Management in the Balearic Islands. En J. A. Morales (Ed.), *The Spanish Coastal Systems Dynamic Processes, Sediments and Management* (p. 765-788). Springer.
- Roig-Munar, F. X., Martín-Prieto, J. Á., Rodríguez-Perea, A., & Blàzquez Salom, M. (2018). Restauración de sistemas dunares en las islas Baleares (2000-2017): una visión crítica. *Investigaciones Geográficas*, (69), 119-136. <https://doi.org/10.14198/INGEO2018.69.08>
- Roig-Munar, F. X., Pintó, J., & Martín-Prieto, J. A. (2009). Descripció geoambiental i paisatgística del sistema platja-duna de cala Borró (cap Ras, Alt Empordà- Costa Brava, Girona), (1994).
- Roig-Munar, F. X., Pintó, J., Martín-Prieto, J. Á., & Rodríguez-Perea, A. (1987). Evolución espacio temporal de las playas con Bandera Azul en las Islas Baleares (1987-2018), consecuencias en su mejora y recuperación morfológica, 111-134. <https://doi.org/10.14198/INGEO2018.70.06>
- Roig-Munar, F. X., Pintó, J., Vicens, J., Martín-Prieto, J. Á., Ramos, S., & Garcia-Lozano, C. (2017). Análisis de la evolución del sistema dunar de la Pletera (Costa Brava, Cataluña) mediante el uso de variables geomorfológicas y de gestión Assessment of the evolution of Pletera dune system (Costa Brava , Catalonia , NE Spain) using geomorphologic and. *Geo-Temas*, 17(IX Jornadas de Geomorfología litoral), 175-178.
- Roig-Munar, F. X., Pons, G. X., Martín-Prieto, J. Á., Rodríguez-Perea, A., & Mir-Gual, M. (2012). Análisis espacio-temporal (1956-2004) de los sistemas dunares de Menorca (Islas Baleares) mediante variables geoambientales de uso y gestión. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 381-404.
- Roig-Munar, F. X., Rodríguez-Perea, A., Martín-Prieto, J. Á., & Pons, G. X. (2009). Soft Management of Beach-Dune Systems as a Tool for their Sustainability. *Journal of Coastal Research*, 56(56), 1284-1288.
- Roig-Munar, F. X., Vicens, J., Mir-Gual, M., Martín-Prieto, J. A., & Pons, G. X. (2013).

Evolució espacial i temporal (1956-2012) de los sistemas dunares del Baix y Alt Empordà (Girona, Cataluña). *Geo-Temas*, 14(VII Jornadas de Geomorfología litoral), 99-102.

- Romagosa, F. (2007). *Els Aiguamolls de l'Empordà: un paisatge en transformació*. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Romagosa, F. (2009). El procés històric de dessecació d'estanys a la plana empordanesa. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 0(53), 71-90. <https://doi.org/10.1234/no.disponible.a.RACO.130729>
- Rovira, A., Batalla, R. J., & Sala, M. (2005). Response of a river sediment budget after historical gravel mining (the lower Tordera, NE Spain). *River Research and Applications*, 21(7), 829-847. <https://doi.org/10.1002/rra.885>
- Rozé, F., & Lemauviel, S. (2004). Sand Dune Restoration in North Brittany, France: A 10-Year Monitoring Study. *Restoration Ecology*, 12(1), 29-35. <https://doi.org/10.1111/j.1061-2971.2004.00264.x>
- Ruocco, M., Bertoni, D., Sarti, G., & Ciccarelli, D. (2014). Mediterranean coastal dune systems: Which abiotic factors have the most influence on plant communities? *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149, 213-222. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2014.08.019>
- SACE, (Sistemas Aéreos Comerciales Españoles). (1960 - 1986). Col·lecció fotogràfica SACE. Recuperat 15 setembre 2015, de <http://cartotecadigital.icc.cat/cdm/landingpage/%0Acollection/fsace>
- Sainz-Amor, E. (1988). Los arenales costeros del litoral catalan (la bahia de Rosas). *Acta Geològica Hispànica*, 23(1), 55-60.
- Sainz-Amor, E. (1990). Mineralogía de los arenales costeros del litoral catalán: Sant Feliu de Guíxols - Portbou. *Acta Geologica Hispanica*, 25(3), 169-175.
- Sainz-Amor, E., & Julià, R. (1999). Utilización de la mineralogía de arenas en la interpretación paleoambiental de las llanuras aluviales costeras: El Empordà, NE de la Península Ibérica. *Acta Geologica Hispanica*, 31(4), 55-65.
- Salman, A. H. P. M., & Kooijman, M. (1998). *Loss and decline of coastal habitats*. EUCC, Leiden. Leiden: EUCC.
- Sánchez-Arcilla, A., Jiménez, J. A., & Valdemoro, H. (1998). The Ebro delta: Morphodynamics and vulnerability. *Journal of Coastal Research*, 14(3), 754-772.
- Sánchez-Arcilla, A., Jiménez, J. A., Valdemoro, H. I., & Gracia, V. (2008). Implications of Climatic Change on Spanish Mediterranean Low-Lying Coasts: The Ebro Delta Case. *Journal of Coastal Research*, 24(2), 306-316. <https://doi.org/10.2112/07A-0005.1>
- Sánchez-García, M. J., Montoya-Montes, I., Casamayor, M., Alonso, I., & Rodríguez-Santalla, I. (2019). Coastal Dunes in the Ebro Delta. En J. A. Morales (Ed.), *The Spanish Coastal Systems Dynamic Processes, Sediments and Management* (p. 611-630). Switzerland: Springer Nature.
- Sánchez-García, M. J., Rodríguez-Santalla, I., & Montoya-Montes, I. (2011). Las dunas del Delta del Ebro. En E. Sanjaume & F. J. Gracia (Ed.), *Las dunas en España* (p. 207-224). Cádiz: Sociedad Española de Geomorfología.
- Sandlos, J., Wiersma, Y., & Alagona, P. S. (2012). Past Imperfect: Using Historical Ecology and Baseline Data for Contemporary Conservation and Restoration Projects. *Environmental Philosophy*, 9(1), 49-70.
- Sanjaume, E., & Gracia, F. J. (2011). *Las dunas en España*. Cádiz: Sociedad Española de

Geomorfología.

- Sanjaume, E., Rosselló, V. M., Pardo, J. E., Carmona, P., Segura, F., & López, J. M. (1996). Recent coastal changes in the Gulf of Valencia (Spain). *Zeitschrift für Geomorphologie, Suppl.-Bd.*(Field methods and models to quantify rapid coastal changes.), 95-1.
- Santaló, J. (Ed.). (2008). *La Costa Brava abans de la Costa Brava*. Roses: Ajuntament de Roses.
- Santana-Cordero, A. M., Luisa, M., Quintana, M., Calvento, L. H., Espino, E. P., & Romero, L. G. (2015). LONG-TERM HUMAN IMPACTS ON THE COAST OF LA GRACIOSA , CANARY ISLANDS.
- Santana-Cordero, A. M., Monteiro-Quintana, M. L., & Hernández-Calvento, L. (2016). Land Use Policy Reconstruction of the land uses that led to the termination of an arid coastal dune system: The case of the Guanarteme dune system (Canary Islands, Spain), 1834-2012. *Land Use Policy*, 55, 73-85. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2016.02.021>
- Santana Cordero, A., Monteiro Quintana, M. L., & Hernández Calvento, L. (2014). Reconstructing the environmental conditions of extinct coastal dune systems using historical sources: the case of the Guanarteme dune field (Canary Islands, Spain). *Journal of Coastal Conservation*, 18(4), 323-337. <https://doi.org/10.1007/s11852-014-0320-5>
- Sanuy, M., Duo, E., Jäger, W. S., Ciavola, P., & Jiménez, J. A. (2018). Linking source with consequences of coastal storm impacts for climate change and risk reduction scenarios for Mediterranean sandy beaches. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 18(7), 1825-1847. <https://doi.org/10.5194/nhess-18-1825-2018>
- Sanz, M., Dana, E. D., & Sobrino, E. (2004). *Atlas de las plantas alóctonas invasoras en España*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Sardá, R., Conde, R., Casadesús, M., Sánchez, A., & Pablo, J. (2013). Erosión en las playas y gestión desintegrada: la problemática actual de la playa de S'Abanell. En R. Sardá, J. Pintó, & J.-F. Valls (Ed.), *Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas* (p. 51-71). Documenta Universitaria.
- Sardá, R., Higgins, T. O., Cormier, R., & Diedrich, A. (2014). A proposed ecosystem-based management system for marine waters: linking the theory of environmental policy to the practice of environmental management. *Ecology and Society*, 19(4), 51. <https://doi.org/10.5751/ES-07055-190451>
- Sardá, R., Pinedo, S., Gremare, A., & Taboada, S. (2000). Changes in the dynamics of shallow sandy-bottom assemblages due to sand extraction in the Catalan Western Mediterranean Sea. *ICES Journal of Marine Science*, 57(5), 1446-1453. <https://doi.org/10.1006/jmsc.2000.0922>
- Sardá, R., Pintó, J., & Valls, J. F. (2013). *Hacia un nuevo modelo integral de gestión de playas*. Girona: Documenta Universitaria. Recuperat de http://cataleg.udg.edu/record=b1348209~S10*cat
- Sennen. (1928). La flora de la duna barcelonesa de Castelldefels. *Memorias de la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona*, XX(14), 457-466.
- Serra, J. (2000). Geòtop 161: Les sorres de les Cavorques. En *Punt d'interès geològic*. Generalitat de Catalunya.
- Serra, J., Rodríguez, I., Sánchez, M. J., & Montoya-Montes, I. (2012). Delta del Ebro: papel del sistema dunar frente a la regresión deltaica (actuaciones y medidas paliativas). En A. Rodríguez-Perea, G. X. Pons, F. X. Roig-Munar, J. A. Martín-Prieto, M. Mir-Gual, & J. A.

- Cabrera (Ed.), *La gestión integrada de playas y dunas_experiencias en Latinoamérica y Europa* (p. 365-373). Palma de Mallorca: Societat d'Història Natural de les Balears.
- Serra, J., Valois, X., & Parra, D. (2007). Estructura del prodelta de la Tordera (costa del Maresme, NO Mediterráneo) a partir del análisis sísmico de alta resolución. *Geogaceta*, 41, 211-213.
- Serra, P., Vera, A., Tulla, A. F., & Salvati, L. (2014). Beyond urban-rural dichotomy: Exploring socioeconomic and land-use processes of change in Spain (1991-2011). *Applied Geography*, 55, 71-81. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.09.005>
- Servicio Geográfico del Ejército & Army Map Service. (1947). *Vuelo Americano Serie A [Fotografía aérea vertical]*. 1:33.000 Aprox. Madrid: Servicio Geográfico del Ejército.
- Servicio Geográfico del Ejército & Army Map Service. (1957). *Vuelo Americano Serie B [Fotografía aérea vertical]*. 1:33.000 Aprox. Madrid: Servicio Geográfico del Ejército.
- SGMC, (Servei Geogràfic de la Mancomunitat de Catalunya), & IEC, (Institut d'Estudis Catalans). (1918). Mapa topogràfic de Catalunya. Les Goles de l'Ebre, fulla 43, Prova. [Mapa]. 1:100.000. Recuperat 29 juny 2016, de <http://cartotecadigital.icc.cat/cdm/%0Alandingpage/collection/catalunya>
- Sherman, D. J., & Bauer, B. O. (1993). Dynamics of beach-dune systems. *Progress in Physical Geography*, 17(4), 413-447. <https://doi.org/10.1177/030913339301700402>
- Sherman, D. J., Bauer, B. O., Nordstrom, K. F., & Allen, J. R. (1990). A tracer study of sediment transport in the vicinity of a groin. *Journal of Coastal Research*, 6, 427-38.
- Short, A. D., & Hesp, P. A. (1982). Wave, beach and dune interactions in southeastern Australia. *Marine Geology*, 48(3-4), 259-284. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(82\)90100-1](https://doi.org/10.1016/0025-3227(82)90100-1)
- Silva, R., Martínez, M. L., Odériz, I., Mendoza, E., & Feagin, R. A. (2016). Response of vegetated dune-beach systems to storm conditions. *Coastal Engineering*, 109, 53-62. <https://doi.org/10.1016/j.coastaleng.2015.12.007>
- Simó, J. A., Gàmez, D., Salvany, J. M., Vázquez-Suñe, E., Carrera, J., Barnolas, A., & Alcalà, F. J. (2005). Arquitectura de facies de los deltas cuaternarios del río. *Geogaceta*, 38(1), 171-174.
- Smeets, E., & Weterings, R. (1999). *Environmental indicators: Typology and overview*. Copenhagen: European Environment Agency.
- Solé i Perich, L. (2005). El Risc d'inundacions al delta del Llobregat. Viure contra l'aigua? *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, XI(42), 223-264. <https://doi.org/10.2436/tscg.v0i42.37098>
- SOS Costa Brava. (2019). Recuperat 30 març 2019, de <https://www.soscostabrava.cat>
- Srinath, I., & Millington, A. (2016). Evaluating the Potential of the Original Texas Land Survey for Mapping Historical Land and Vegetation Cover. *Land*, 5(1), 4. <https://doi.org/10.3390/land5010004>
- Stanley, D. J., & Warne, A. G. (1993). Nile Delta: Recent Geological Evolution and Human Impact. *Science*, 260(5108), 628-634. <https://doi.org/10.1126/science.260.5108.628>
- Suquet, M. A. (2010). *Costa Brava Panoràmica*. el Papiol: Efadós.
- Swetnam, T. W., Allen, C. D., & Betancourt, J. L. (1999). Applied Historical Ecology : Using the Past to Manage for the Future Reviewed. *Ecological Society of America*, 9(4), 1189-1206.
- Sytnik, O., & Stecchi, F. (2014). Disappearing coastal dunes: tourism development and future

- challenges, a case-study from Ravenna, Italy. *Journal of Coastal Conservation*, 19(5), 715-727. <https://doi.org/10.1007/s11852-014-0353-9>
- Tamames, R. (2005). *Estructura económica de España*. Madrid: Alianza Editorial.
- Tarrés, J., & Pla, R. (2012). *Els inicis de la targeta postal a Catalunya, Andorra i Balears: imatges de la nostra terra fa un segle*. Pamplona: Liber ediciones.
- Taylor, E. B., Gibeaut, J. C., Yoskowitz, D. W., & Starek, M. J. (2015). Assessment and Monetary Valuation of the Storm Protection Function of Beaches and Foredunes on the Texas Coast. *Journal of Coastal Research*, 315(5), 1205-1216. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-14-00133.1>
- Tena, A., Batalla, R. J., & Vericat, D. (2012). Reach-scale suspended sediment balance downstream from dams in a large Mediterranean river. *Hydrological Sciences Journal*, 57(5), 831-849. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.681784>
- Tinley, K. L. (1985). Coastal dunes of South Africa. *South African CSIR, National Scientific Programmes*, 109.
- Todd, D. J., & Bowa, K. (2016). Development of Beach Health Index for the Gold Coast, Australia. *Journal of Coastal Research*, 75(sp1), 710-714. <https://doi.org/10.2112/S175-142.1>
- Valdemoro, H. I., Sánchez-Arcilla, A., & Jiménez, J. A. (2007). Coastal dynamics and wetlands stability. The Ebro delta case. *Hydrobiologia*, 577(1), 17-29. <https://doi.org/10.1007/s10750-006-0414-7>
- Valiela, I. (2006). *Global Coastal Change*. Hong Kong: Blackwell Publishing.
- Valls, J.-F., Rucabado, J., Sardá, R., & Parera, A. (2017). The beach as a strategic element of governance for Spanish coastal towns. *Journal of Sustainable Tourism*, 25(9), 1338-1352. <https://doi.org/10.1080/09669582.2016.1273358>
- Valverde-Martínez, A., & Valverde-Valera, A. (2019). Noves aportacions al coneixement de la flora al·lòctona de la comarca del Baix Llobregat (Catalunya, Espanya). *Miconia. Revista botànica catalana independent*, 3, 211-234. <https://doi.org/10.3989/collectbot.2016.v35.007>
- Valverde, A. (1998). Evolución histórica, origen y significación de la pineda litoral del delta del Llobregat. I (siglos XVI-XIX). *Spartina*, 3, 63-101.
- van Aarde, R. J., Wassenaar, T. D., Niemand, L., Knowles, T., & Ferreira, S. (2004). Coastal Dune Forest Rehabilitation: A Case Study on Rodent and Bird Assemblages in Northern Kwazulu-Natal, South Africa. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 102-115). New York: Springer.
- van der Maarel, E. (1993a). *Dry coastal ecosystems: Africa, America, Asia and Oceania*. Amsterdam: Elsevier.
- van der Maarel, E. (1993b). *Dry coastal ecosystems: polar regions and Europe*. Amsterdam: Elsevier.
- van Der Meulen, F., Bakker, T. W. M., & Houston, J. A. (2004). The Costs of our Coasts: Examples of Dynamic Dune Management from Western Europe. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 259-). New York: Springer.
- van Der Meulen, F., & Salman, A. H. P. M. (1996). Management of Mediterranean coastal dunes. *Ocean and Coastal Management*, 30(2-3), 177-195.
- Vaz, B., Williams, A. T., Pereira da Silva, C., & Aysen, E. (2017). A new typology for Portuguese beaches: An exploratory study. *Journal of Coastal Conservation*, 21(1), 95-103.

<https://doi.org/10.1007/s11852-016-0474-4>

- Vericat, D. (2005). *Sediment transport and processes in a highly regulated river. The lower Ebro, NE Iberian Peninsula* (PhD Thesis). Lleida: Universidad de Lérida.
- Vericat, D., & Batalla, R. J. (2006). Balance de sedimentos en el tramo bajo del Ebro. 06). . *Revista Cuaternario y Geología*, 20(1-2), 79-9.
- Vigo, J., Carreras, J., & Ferré, A. (Ed.). (2008). *Manual dels hàbitats de Catalunya. Volum II*. Barcelona: Departament de Medi Ambient i Habitatge.
- Vila, I., & Serra, J. (2015). Tordera River Delta system build up (NE Iberian Peninsula): sedimentary sequences and offshore correlation. *Scientia Marina*, 79(3), 305-317. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.3989/scimar.04188.07A>
- Vila, P. (1928 - 1936). *Resum de la Geografia de Catalunya*. Barcelona: Barcino.
- Vilar, L., Gestí, J., Watt, S., Font, J., & Campos, M. (2001). Un sistema de información geográfica para la gestión de la flora vascular del P.N dels Aiguamolls de l'Empordà. En E. . Cano Carmona (Ed.), *Valoración y gestión de espacios naturales. Libro de actas de las XVII Jornadas de Fitosociología* (p. 505-518). Jaén: Universidad de Jaén, Servicio de Publicaciones.
- Walker, I. J., Davidson-Arnott, R. G. D., Bauer, B. O., Hesp, P. A., Delgado-Fernandez, I., Ollerhead, J., & Smyth, T. A. G. (2017). Scale-dependent perspectives on the geomorphology and evolution of beach-dune systems. *Earth-Science Reviews*, 171(April), 220-253. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2017.04.011>
- Wiedemann, A. M., & Pickart, A. J. (2004). Temperate Zone Coastal Dunes. En M. L. Martínez & N. P. Psuty (Ed.), *Coastal Dunes, Ecology and Conservation* (p. 53-65). New York: Springer.
- Williams, A. T. (2011). Definitions and typologies of coastal tourism beach destinations. En A. Jones & M. R. Phillips (Ed.), *Disappearing Destinations: Climate Change and Future Challenges for Coastal Tourism*. Wallingford: CABI.
- Williams, A. T., Alveirinho-Dias, J., Garcia-Novo, F., García-Mora, M. R., Curr, R., & Pereira, A. (2001). Integrated coastal dune management: checklists. *Continental Shelf Research*, 21, 1937-1960.
- Williams, A. T., Davies, P., Alveirinho-Dias, J., Pereira, A. R., García-Mora, M. R., & Tejada, M. (1994). A re-evaluation of dune vulnerability checklist parameters. *Gaia*, 8, 179-182.
- Williams, A. T., Duck, R. W., & Phillips, M. R. (2011). Coastal dune vulnerability among selected Scottish systems. *Journal of Coastal Research*, (64), 1263-1267.
- Williams, A. T., & Micallef, A. (2009). *Beach Management: Principles and Practice* (Vol. 176). London: Earthscan. https://doi.org/10.1111/j.1475-4959.2010.00360_1.x
- Williams, A. T., Micallef, A., & Anfuso, G. (2012). Andalusia, Spain: An Assessment of Coastal Scenery. *Landscape Research*, 37(3), 327-349. <https://doi.org/10.1080/01426397.2011.590586>
- Wilson, J. B., & Sykes, M. T. (1999). Is zonation on coastal sand dunes determined primarily by sand burial or by salt spray? A test in New Zealand dunes. *Ecology Letters*, 2(4), 233-236. <https://doi.org/10.1046/j.1461-0248.1999.00084.x>
- Yélamos, N. (2009). *Els dipòsits eòlics relictos del litoral nord*. Universitat de Barcelona.
- Yepes, V. (2002). La explotación de las playas. La madurez del sector turístico. *Ingeniería y territorio*, 61, 72-77.
- Yousefi Lalimi, F., Silvestri, S., Moore, L. J., & Marani, M. (2017). Coupled topographic and

vegetation patterns in coastal dunes: Remote sensing observations and ecomorphodynamic implications. *Journal of Geophysical Research: Biogeosciences*, 122(1), 119-130. <https://doi.org/10.1002/2016JG003540>

Zacarias, D. A., Williams, A. T., & Newton, A. (2011). Recreation carrying capacity estimations to support beach management at Praia de Faro, Portugal. *Applied Geography*, 31(3), 1075-1081. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2011.01.020>

Zier, J. L., & Baker, W. L. (2006). A century of vegetation change in the San Juan Mountains, Colorado: An analysis using repeat photography. *Forest Ecology and Management*, 228(1-3), 251-262. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.02.049>