



**Universitat de les
Illes Balears**

Facultat de Filosofia i Lletres

Memòria del Treball de Fi de Grau

Evolució de la línia de costa a dues platges encaixades: Es Domingos Grans i Es Domingos Petits (2002-2019)

Miquel Cabalín Manresa

Grau en Geografia

Any acadèmic 2019-20

DNI de l'alumne: ██████████

Treball tutelat per Julián García Comendador
Departament de Geografia

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació	Autor		Tutor	
	Sí	No	Sí	No
	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Paraules clau del treball: platja encaixada, línia de costa, DSAS, onatge

ÍNDEX

LLISTA DE FIGURES.....	4
LLISTA DE TAULES	4
LLISTA DE FÓRMULES.....	4
RESUM	5
ABSTRACT.....	5
INTRODUCCIÓ.....	6
OBJECTIUS	8
ÀREA D'ESTUDI.....	8
METODOLOGIA I DADES	12
RESULTATS	16
Variació de la línia de costa (2002-2019)	16
Tendències d'acreció - erosió (2002-2019).....	17
Evolució superfície de la platja seca per subperíodes	19
Registres d'onatge (2001-2019)	21
DISCUSSIÓ	22
CONCLUSIÓ.....	24
AGRAÏMENTS	25
ANNEX.....	26
BIBLIOGRAFIA.....	28
RECURSOS ELECTRÒNICS.....	31

LLISTA DE FIGURES

- Figura 1.** Localització àrea d'estudi (a), punt SIMAR (b), Es Domingos Grans, i Es Domingos Petits (c).
- Figura 2.** Perfil de Cala Es Domingos: Es Domingos Petits, esquerra i Es Domingos Grans a la dreta (visor IDEIB).
- Figura 3.** Ventall d'angles incidents a cada platja, i a la gola de les dues platges en conjunt.
- Figura 4.** Rosa Onatge (direcció - Hs) per estacions (2002-2019) al punt SIMAR 2124113 (Puertos del Estado).
- Figura 5.** Altura significat de les ones per estacions (2002-2019) al punt SIMAR 2124113 (Puertos del Estado).
- Figura 6.** Línia base i línies de costa digitalitzades, amb els transsectes generats per DSAS.
- Figura 7.** Exemple de densitat dels nodes SIMAR al mediterrani (Puertos del Estado, 2020).
- Figura 8.** Gràfics de sèries temporals d'onatge (recull horari): alçada (a) i direcció (b) (Puertos del Estado).
- Figura 9.** Mapa d'Es Domingos Grans i Es Domingos Petits del (a) Shoreline Change Envelope (SCE) i (b) Net Shoreline Movement (NSM).
- Figura 10.** Mapa d'Es Domingos Grans i Es Domingos Petits del (a) End Point Rate (EPR) i (b) Linear Regression Rate (LRR).
- Figura 11.** Mitjana de variació línia de costa (m) amb barres d'error (\pm desviació estàndard) i evolució de la superfície platja seca (m^2) Es Domingos Grans entre 2002 i 2019.
- Figura 12.** Mitjana de variació línia de costa (m) amb barres d'error (\pm desviació estàndard) i evolució de la superfície platja seca (m^2) Es Domingos Petits entre 2002 i 2019.
- Figura 13.** Diagrama de dispersió superfícies de platja seca (m^2) de les dues cales, període d'estudi 2002-2019.
- Figura 14.** Rosa d'onatge amb les direccions d'onatge i altura significativa (període 2001-2019) del punt SIMAR 2124113 (Puertos del Estado).
- Figura 15.** Registre d'onatges màxims ($>2'5$ m) dins l'interval de component ($40^\circ\text{NE}-175^\circ\text{SSE}$), i registre de mitjanes d'onatge mensuals (2001-2019).
- Figura 16.** Gràfic de registre d'onatges màxims ($>2'5$ m) dins l'interval de component ($40^\circ\text{NE}-175^\circ\text{SSE}$), i registre de mitjanes d'onatge mensuals (2001-2019). Amb la situació temporal de cada orto-foto i el procés d'erosió (vermell) o acreció (groc) de l'interval.

LLISTA DE TAULES

- Taula 1.** Resum amb la data i la resolució de cada imatge aèria geo-referenciada.
- Taula 2.** Taula amb els valors màxims absoluts d'onatge (figura 15) i la seva direcció de procedència (graus).
- Taula 3:** Valors Shoreline Change Envelope (m) i Net Shoreline Movement (m) per Es Domingos Grans (EDG) i Es Domingos Petits (EDP)
- Taula 4:** Valors End Point Rate (m any-1) per Es Domingos Grans (EDG) i Es Domingos Petits (EDP).
- Taula 5.** Valors Linear Regression Rate (m any-1) per Es Domingos Grans (EDG) i Es Domingos Petits (EDP).

LLISTA DE FÓRMULES

- Fórmula 1.** Fórmula simplificada per calcular la Uncertainty de cada línia de costa, a la zona d'estudi.

RESUM

S'analitza l'evolució de la línia de costa i la variabilitat espacial de dues platges encaixades micromareals i d'ambient poc energètic (mitjana d'onatge = 0'71 m Hs) del llevant de Mallorca (Es Domingos Grans i Es Domingos Petits). S'han utilitzat orto-fotos de 2002 fins a 2019, per digitalitzar 7 línies de costa a cada platja. Mitjançant l'eina DSAS s'han calculat les taxes de canvi de la línia de costa, i els canvis en la superfície de la platja seca. Els resultats obtinguts indiquen que les dues platges presenten una correlació lineal positiva alta ($R^2=0'86$) en la seva evolució, per tant tenen un comportament morfo dinàmic similar. El paràmetre *Shoreline Change Envelope* determina una variabilitat de línia de costa de 36 m (Es Domingos Petits) i 25 m (Es Domingos Grans), la variabilitat és major a n'Es Domingos Petits ja que està exposada als onatges més septentrionals, més freqüents. L'àrea d'estudi presenta una tendència general d'acreció amb indicadors mitjans de *Linear Regression Rate* elevats (1'19 m any⁻¹ a 1'23 m any⁻¹). La superfície de platja seca d'ambdues platges (2019) és superior al seu estat inicial, encara que durant els 18 anys estudiats, hi ha hagut dos períodes erosius on aquesta s'ha reduït (2011-2012 i 2012-2015). A més, observant l'estat inicial de les platges (2002) i les dades d'onatges màxims dels mesos anteriors, es podria que els temporals extrems tenen certa relació amb els episodis d'erosió.

ABSTRACT

This work deals with the coastline evolution and spatial variability of two microtidal low energy (mean wave = 0.71 m Hs) pocket beaches in the east coast of Mallorca (Es Domingos Grans and Es Domingos Petits). Orthophotos from 2002 to 2019, were analyzed to digitalize seven shorelines for each beach. With the use of DSAS tool, the rates of change throughout coastline were able to be calculated, as well as the changes in the surface of the subaerial beach. The results obtained indicate that the two beaches have a high positive linear correlation ($R^2=0.86$) in their evolution, thus resulting in similar morpho-dynamic behavior. The Shoreline Change Envelope parameter determines a variability of 36 m (Es Domingos Petits) and 25 m (Es Domingos Grans), the variability is greater in Es Domingos Petits since it is exposed to more northern and frequent waves. The study area shows a general tendency to increase with medium Linear Regression Rate indicators (1.19 m any⁻¹ to 1.23 m any⁻¹). The area of subaerial beach of both sites (2019) is higher than its initial status, although during the 18 years studied, there have been two periods of erosion in this area (2011-2012 and 2012-2015). Moreover, observing the initial status of the beaches (2002) and the maximum data from the previous months, it is possible that the extreme seasons are closely related to the episodes of erosion.

INTRODUCCIÓ

Les platges són zones d'acumulació de sediment no consolidat ubicades entre la línia de màxim abast d'onatge en temporal i la plenamar viva. La seva profunditat es correspon amb la zona on deixa de produir-se el moviment actiu de sediments a causa de l'acció de l'onatge (Ley-Vega de Seoane et al., 2007). Les platges conformen hàbitats únics per a una gran varietat de plantes i animals, i protegeixen les àrees litorals de l'acció dels temporals més extrems (US EPA, 2020). A més, són el suport físic bàsic d'un sector econòmic creixent i d'elevada rendibilitat econòmica i social, com ho demostra el fet que entre el 60 i el 80% del PIB de la Comunitat Autònoma de les Illes Balears s'extreu directament de l'exploració de les platges com a producte turístic-social (Mas-Parera i Blázquez, 2005)

La platja es manté en equilibri dinàmic adaptant-se constantment a les variacions naturals del nivell del mar, l'onatge, el vent o les aportacions de sediment (Mas-Parera i Blázquez et al., 2005). Aquest fort dinamisme morfològic natural de la platja comporta canvis en la línia de costa de manera contínua (Prieto et al., 2018). La línia de costa o *shoreline* és el llindeu entre la massa d'aigua estabilitzada del mar i la terra ferma (Dolan et al., 1980). L'erosió i l'acreció són processos naturals que modelen de forma constant les línies de costa (Van Rijn, 2011). Regulen aquests processos, l'aportació de sediment fluvial i mareal, transport litoral, canvis en el nivell del mar, la hidrodinàmica de l'entorn proper costaner, les tempestes, la naturalesa dels accidents geogràfics costaners i la influència antròpica (Kumar et al., 2009).

En els darrers anys (Van Rijn, 2011) l'erosió costanera s'ha intensificat en gran manera a causa de les activitats humanes. Actualment, aproximadament un 20% de la costa de la Unió Europea s'està erosionant (Roca et al., 2008). La regressió de la línia de costa assoleix valors d'entre -0'5 i -2 m any⁻¹, sent les activitats humanes inapropiades una de les causes més destacades (Ibarra et al., 2017). A Espanya la degradació afecta el 11'5% del litoral, i segons l'informe de la Comissió Europea (2005), les Illes Balears presenten un grau elevat d'erosió (Ibarra et al., 2017). L'erosió afecta tant al desenvolupament econòmic com al social, fent inviables algunes activitats, i també posa en perill la capacitat dels ecosistemes costaners per subministrar altres serveis biofísics i no monetaris, com la protecció de les terres, el subministrament de recursos naturals, la conservació de la biodiversitat o la integració del paisatge, que no poden ser substituïts pel capital humà (Roca et al., 2008).

Els estudis a llarg termini assenyalen la rellevància de les pertorbacions humanes en el sistema platja (Gómez-Pujol et al., 2018) En canvi, per observar canvis originats per l'acció de l'onatge, les anàlisis a mitjà i curt termini són suficients. No s'ha de confondre l'erosió costanera amb els estats cíclics de la platja. En períodes de tempestes la platja posseeix un perfil d'hivern, en què la zona seca és menor a causa d'una lleugera pujada del nivell del mar, unida a una major energia per part de l'onatge que afavoreix l'erosió de la part més alta de la platja, dipositant sediments en una zona sublitoral (Ibarra et al., 2017). En èpoques de calma relativa i vents moderats, les ones exerceixen poc treball d'erosió, però tendeixen, pel contrari, a construir platges i altres dipòsits de grava i arena. En períodes de tempesta, ones de gran magnitud al rompre amollen tones d'aigua contra la costa i l'erosió és intensa (Strahler, 1979 pg.569). Nombrosos estudis (ex. Kim et al., 2018; Loureiro et al., 2020; Press, 2014) estableixen l'onatge com a una de les variables principals en els processos geomorfològics litorals.

La costa sud-est de Mallorca presenta nombroses platges encaixades repartides al llarg d'una morfologia costanera irregular (Press, 2014). Les platges encaixades o *pocket beach*, són cèl·lules morfològiques costaneres acollides i restringides entre caps rocosos, molt comunes al llarg de les costes rocoses de tot el món (Hegge et al., 1996; Short i Masselink, 1999; Storlazzi and Field, 2000; Klein et al., 2002; Voudoukas et al., 2009; Bowman et al., 2009; Dehouck et al., 2009; Bowman et al., 2014). Fins i tot, quan estan a prop unes de les altres, les platges encaixades solen ser entorns singulars amb gran variabilitat pel que fa a l'exposició a l'onatge, en la morfologia i processos sedimentaris (Dingler, 1981; Wiegel, 2006; Bowman et al., 2014). Tot i estar protegides per promontoris i capçaleres, aquestes entrades no són necessàriament entorns de baixa energia (Collinset al., 1979; Sayo, 1991; Dail et al., 2000). L'absència de mareas importants al mediterrani restringeix la morfodinàmica de les platges a l'acció de les ones i els corrents propers a la costa, especialment durant episodis meteorològics severos (Gómez-Pujol et al., 2017).

Els estudis per detectar moviments i tendències de línia de costa, són importants per tenir un major coneixement científic d'aquestes zones dinàmiques. Aquesta informació, ajuda a establir plans de gestió i/o manteniment i de recuperació de l'estat de les platges.

Per estudiar els canvis en la línia de costa es poden utilitzar diverses tècniques segons l'escala temporal (Gracia et al., 2017). En estudis a molt curt termini (segons, minuts, hores) s'utilitzen tècniques empíriques en el terreny com la coloració de sorra (ex. King, 1951). En estudis de dies i /ò mesos, es poden realitzar perfils topogràfics de les platges amb equipaments d'alta tecnologia (ex. Wright i Short, 1984). En estudis a mitjà i llarg termini l'ús dels sistemes d'informació geogràfica són àmpliament utilitzats (ex. Ojeda et al., 2002), en canvi en estudis molt a llarg termini (segles, mil·lennis) s'utilitzen fotografies geomorfològiques i tècniques arqueològiques, típiques dels estudis Quaternaris (Pirazzoli, 1996).

L'eina *Digital Shoreline Analysis System* (en endavant, DSAS) és una eina desenvolupada per *U.S. Geological Survey* (USGS) per estudiar i calcular les taxes i canvis de costa. És una eina àmpliament utilitzada en treballs que analitzen l'evolució de la línia de costa a platges arreu del món; Golf de Mèxic (Morton et al., 2005); costa mediterrània turca (Kuleli et al., 2011); regió central portuguesa (Cenci et al., 2013); Dinamarca (Kabuth et al., 2013); Cala Millor, Mallorca (Pilares et al., 2015); Santa Catarina Island, Brasil (Silva et al., 2016); Es Trenc, Mallorca (Prieto et al., 2018); Illes Balears (Gómez-Pujol et al., 2018) i Worthing Beach, Barbados (Nagdee et al., 2019).

El model estadístic del DSAS assumeix que la platja és una cèl·lula litoral lineal (Nagdee et al., 2019) (figura 6). També suposa que els processos responsables dels canvis a la morfometria de la platja són lineals i han estat relativament constants al llarg del temps (Fenster et al., 1993). Encara que, realment, el procés d'evolució de la línia de costa no és lineal i pot ser cíclic o inclús caòtic (Fenster et al., 1993).

OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest treball és analitzar l'evolució de la línia de costa de dues platges encaixades mediterrànies durant el període (2002-2019). Els objectius específics són; 1) calcular la variació de la línia de costa i les tendències d'acreció-erosió (2002-2019) comparant els resultats de les dues platges. D'altra banda, 2) calcular i analitzar per subperíodes de temps, l'evolució de les superfícies de la platja seca. Per acabar, 3) correlacionar les dades d'onatge amb els resultats obtinguts.

ÀREA D'ESTUDI

Es Domingos Grans i Petits són dues platges localitzades a la costa est de Mallorca, en el municipi de Manacor (figura 1.a i b).

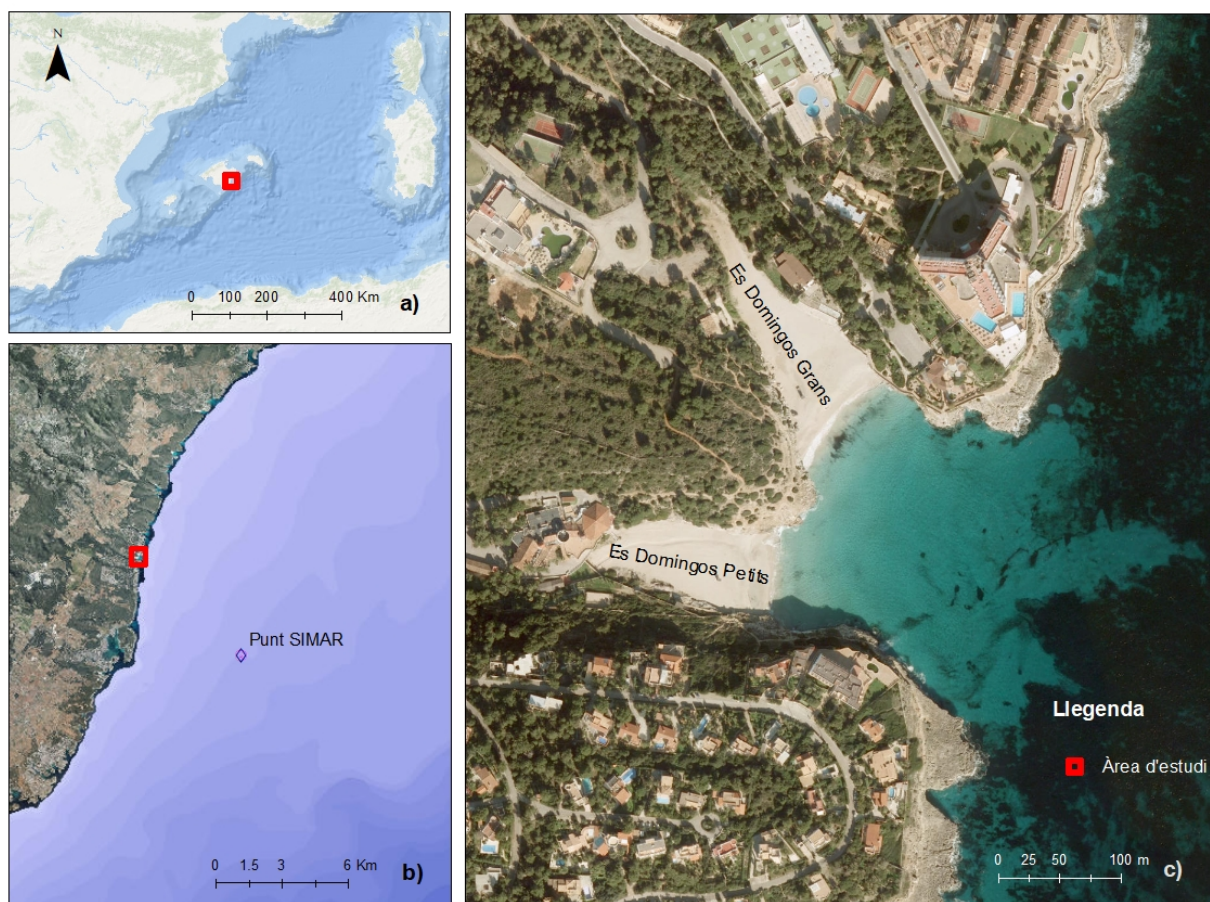


Figura 1. Localització àrea d'estudi (a), punt SIMAR (b), Es Domingos Grans, i Es Domingos Petits (c).

La morfologia de la línia de costa de llevant, és una línia contínua i irregular de forma esglaonada, que alterna costa baixa i penya-segats amb altures variables. Les altures poden variar d'escassos 10 m de penya-segat vertical a les rodalies de Portocristo, que ascendeixen fins als 20 m a Cala Murada (Gómez-Pujol et al., 2007). La continuïtat d'aquest sector de costa s'interromp per barrancs que amb la seva interacció amb el modelat litoral càrstic,

configuren les cales. Aquests entrants litorals es relacionen amb la inundació d'antigues valls fluvials on la fracturació i el Carst juguen un paper important (Rosselló, 2005).

Es Domingos, presenta les característiques d'una cala, amb una amplària de gola de 225 m i un tirat (eix de la cala) de 210 m. Per tant, segons Rosselló (2005) presenta un índex $T/E=1'07$ (T, tirat i E, amplària de la gola). La gola talla els penya-segats orientats de S al NE, més endins, dos barrancs formen dues platges separades (Es Domingos Grans i Es Domingos Petits) amb un perfil encaixat amb parets verticals als seus laterals (figura 2). S'assoleixen fàcilment altures de més de 20 m per sobre el nivell del mar. Les dues platges estan separades per un sortint rocallós càrstic, on existeix una cova que s'ha format per erosió marina de les ones, que hi incideixen de manera molt energètica en aquell punt.

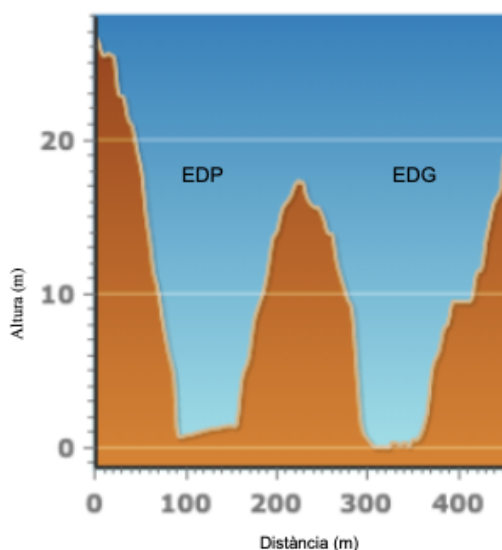


Figura 2. Perfil de Cala Es Domingos: Es Domingos Petits, esquerra i Es Domingos Grans a la dreta (visor IDEIB).

Es Domingos Grans és la platja més al nord de l'àrea d'estudi. Presenta una àrea total de platja seca de 8.513 m^2 i una longitud màxima de 189 m, que enllaça en el seu punt més nord-occidental amb el Torrent des Domingos Gran. L'amplada màxima aproximada de la platja és de $76'4 \text{ m}$. Es Domingos Petits és la platja més meridional. Presenta una àrea de 6.431 m^2 i una llargària màxima de $129'4 \text{ m}$, coincidint amb la llera del torrent des Regueró des Domingo Petit. La seva amplària màxima és de $63'6 \text{ m}$ (càlculs extrets a través de la darrera orto-foto disponible, 2019, Visor IDEIB). La platja seca forma part d'un sistema més extens i complex, que incorpora la platja submergida.

L'obertura de la gola de la cala permet la incidència d'onatges de direccions 40° NE fins a 175° SSE (figura 3). Encara que, cada una de les platges té unes direccions que influeixen de forma més directa sobre la seva línia de costa. Per una banda, Es Domingos Grans rep de forma directa direccions provinents de 78° ESE fins a 170° SSE , i per altra banda, Es Domingos Petits rep onatges de direcció 55° NE fins a 135° SE .

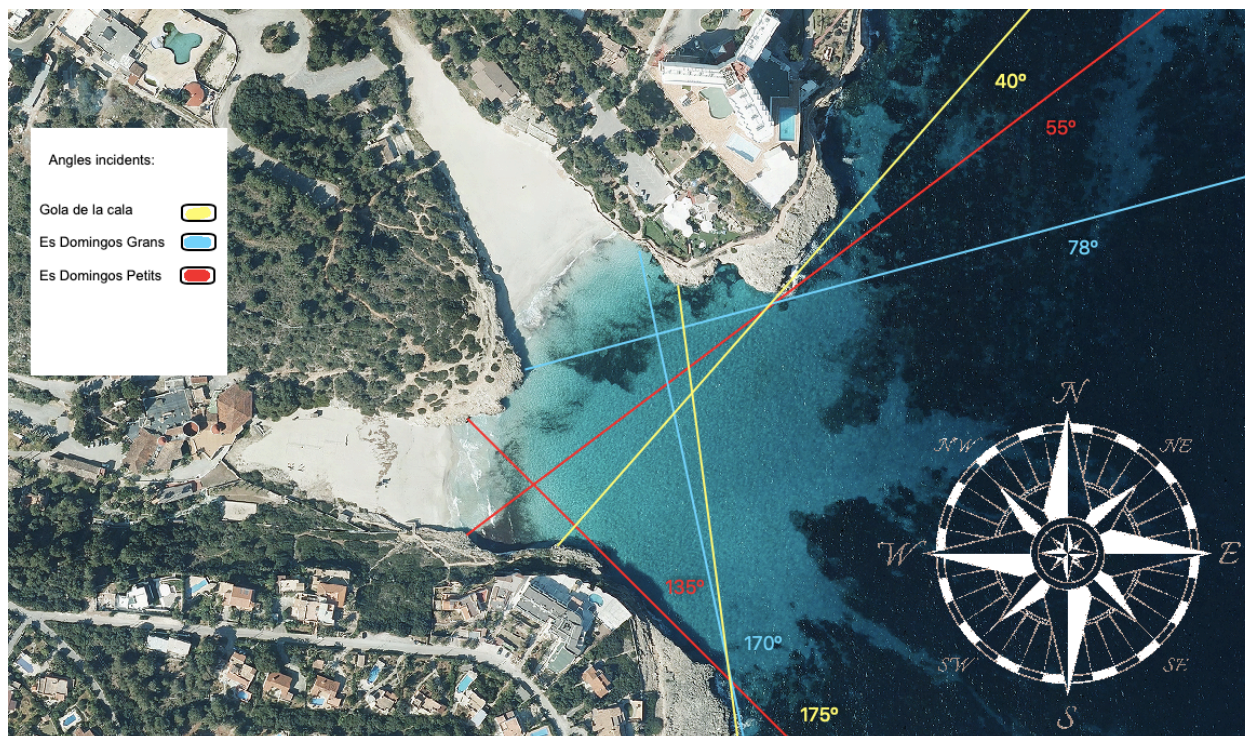


Figura 3. Ventall d'angles incidents a cada platja, i a la gola de les dues platges en conjunt.

La morfologia condiona la tipologia de les ones de la platja. Les entrades estretes concentren en un espai petit, gran part de l'onatge, que segons Amengual (2014) genera rebots en ambdós costats del penya-segat i fan que es formin ones ràpides i tuberes, del tipus *plunging*.

L'àrea d'estudi presenta un clima semiàrid temperat-càlid segons la classificació d'Emberger (Guijarro, 2001). La precipitació mitjana oscil·la entre els 200 a 300 mm anuals, la temperatura màxima mitjana (agost) és de 30°C i la temperatura mínima mitjana de 6°C (Gener).

Durant l'hivern es solen donar processos ciclogènics, generats freqüentment per centres depressionaris afecten la zona (Gómez-Pujol et al., 2013). Els vents intensos predominen durant tota la temporada d'hivern, i poden arribar a produir ones de dimensions notables, de vegades superiors a les esperades per a un mar interior amb *fetch* reduït (Guijarro, 1986). En canvi, a la temporada d'estiu, predomina una situació anticiclònica generalitzada, on són freqüents els vents de baixa intensitat i les brises marines locals.

Durant l'hivern les direccions predominants d'onatge són del NE, i a l'estiu provenen del NE, E i SE. A la tardor els onatges predominants són del NE i E, finalment, durant els mesos de primavera són més freqüents els de component NE i E (figura 4).

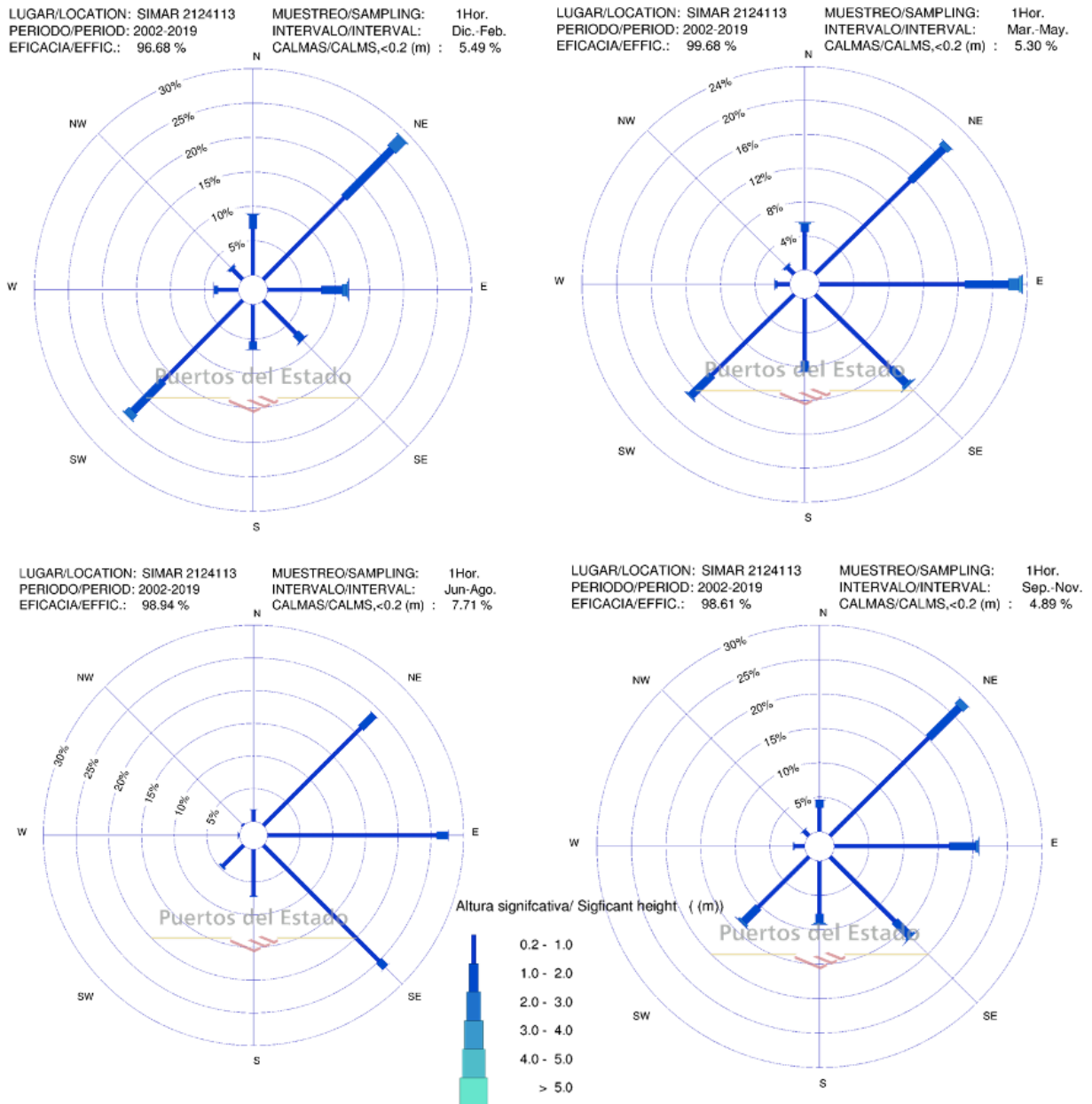


Figura 4. Rosa Onatge (direcció - Hs) per estacions (2002-2019) al punt SIMAR 2124113 (Puertos del Estado).

Pel que fa a l'alçada d'onatge (figura 5) les xifres menys importants de l'any es registren entre juny i agost, amb valors de 0-0,5 m, amb una freqüència superior al 50%, i de 0,5 a 1 m, amb una freqüència del 40%. Al contrari, a l'hivern, entre desembre i febrer, es presenten els valors més extrems, que poden superar els 4 o 5 m d'alçada, encara que, l'interval predominant (39%) correspon a la franja d'onatge entre 0,5 i 1 m d'alçada. La primavera i la tardor són mesos de transició entre les anteriors estacions, encara que també registren xifres elevades que poden arribar als 4 m d'alçada durant la primavera i als 3,5 m a la tardor.

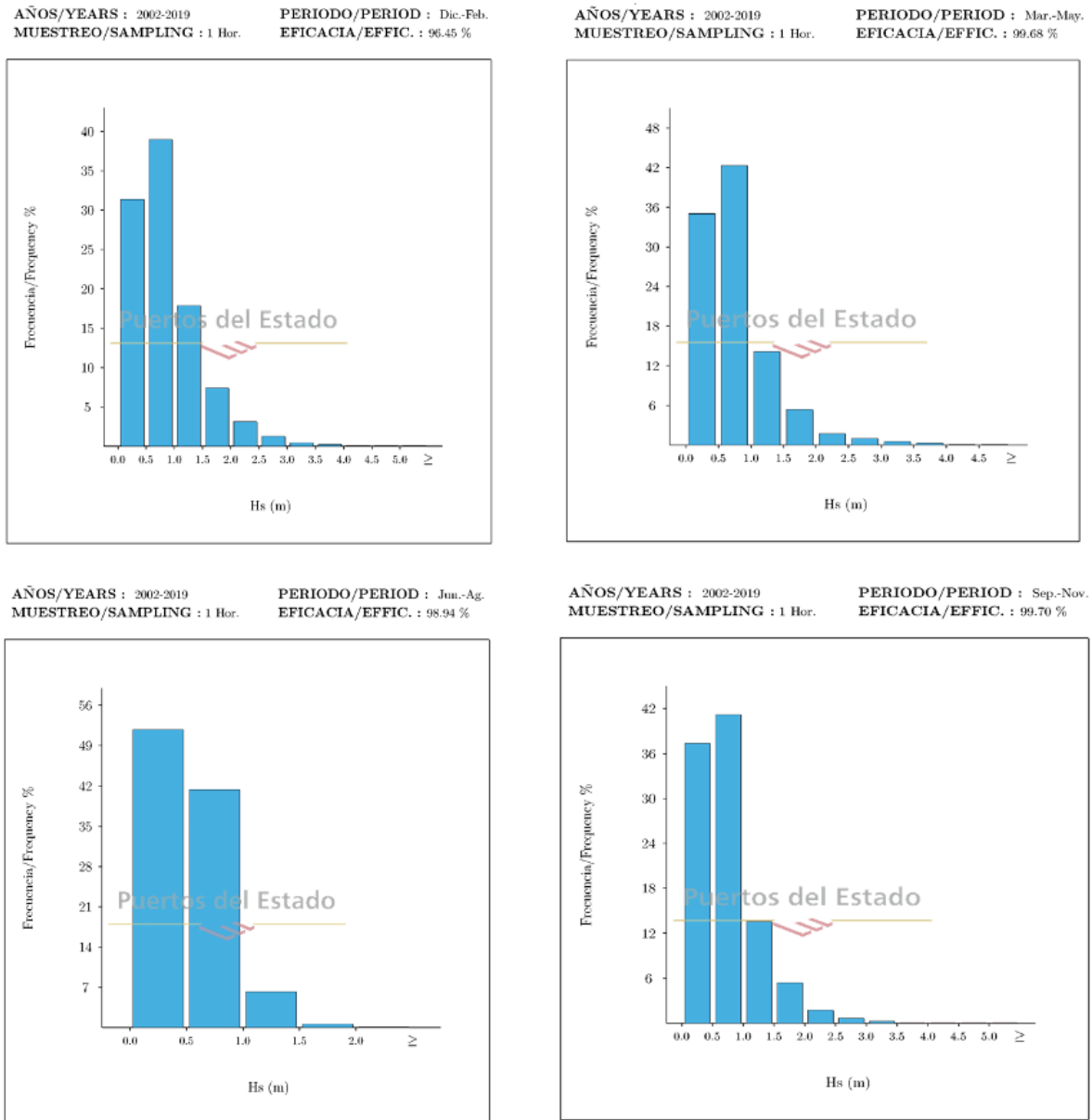


Figura 5. Altura significant de les ones per estacions (2002-2019) al punt SIMAR 2124113 (Puertos del Estado).

METODOLOGIA I DADES

L'evolució a mitjà termini de les platges d'Es Domingos Grans i Petits s'ha determinat mitjançant l'anàlisi comparativa de les orto-fotos (IDEIB) del 2002, 2006, 2008, 2011, 2012, 2015 i 2019 (taula 1). L'eina principal per calcular les taxes de canvi de la línia de costa ha estat el *Digital Shoreline Analysis System 5.0* (Himmelstoss et al., 2018) que treballa amb el software *ArcMap 10.5* d'ESRI. Per datar les orto-fotos, s'ha considerat el darrer dia del darrer mes de cada període de temps descrit a les metadades de cada capa.

Material	Tipus	Data (aprox.)	Resolució
2002	Orto-foto	31/10/2002	0,40 m/píxel
2006	Orto-foto	31/10/2006	0,50 m/píxel
2008	Orto-foto	31/10/2008	0,50 m /píxel
2011	Orto-foto	30/04/2011	0,25 m/píxel
2012	Orto-foto	30/04/2012	0,25 m/píxel
2015	Orto-foto	30/04/2015	0,25 m/píxel
2019	Orto-foto	30/04/2019	0,15 m/píxel

Taula 1. Resum amb la data i la resolució de cada imatge aèria geo-referenciada.

Sobre les imatges s'ha digitalitzat la línia de costa, considerada com a l'àrea de contacte entre la làmina d'aigua i la platja seca. L'absència de mareas significants a la zona, ha facilitat la seva digitalització. S'ha calculat la Incertesa (en endavant *Uncertainty*) per a cada línia de costa i any (fórmula 1). Aquest, és un valor necessari al DSAS per augmentar la precisió dels resultats .

$$U_t = \sqrt{Ed^2 + Ep^2} \quad (1)$$

Fórmula 1. Fórmula simplificada per calcular la *Uncertainty* de cada línia de costa, a la zona d'estudi.

On: U_t , és la *Uncertainty* total; Ed , és l'error de digitalització, i Ep , és l'error de píxel.

L'error de digitalització (Ed) és un valor obtingut del càlcul de la desviació estàndard de la diferència entre les línies dibuixades per al mateix any, a una mateixa línia de costa. És aconsellable, segons Romine i Fletcher (2013) que les distintes línies siguin dibuixades per diverses persones experimentades, encara que, en aquest cas, una mateixa persona ha digitalitzat tres vegades cada línia de costa. Per altra banda, l'error de píxel (Ep) és el valor de la resolució (mida de píxel) de cada orto-foto.

Aquesta fórmula s'ha extret a partir del treball de Prieto et al. (2018). És una fórmula reduïda (per les condicions del cas d'estudi i de l'àrea mediterrània) de l'equació proposada per Fletcher et al. (2003) i Genz et al. (2007). Cada platja presentarà una incertesa determinada per cada línia de costa digitalitzada.

L'eina DSAS, funciona a partir de la creació de transectes distribuïts al llarg d'una línia base (cada 8 metres) que tallen perpendicularment les línies de costa que es troben en la seva trajectòria (figura 6), establint un punt de mesura, amb la intersecció de cada una de les línies de costa.

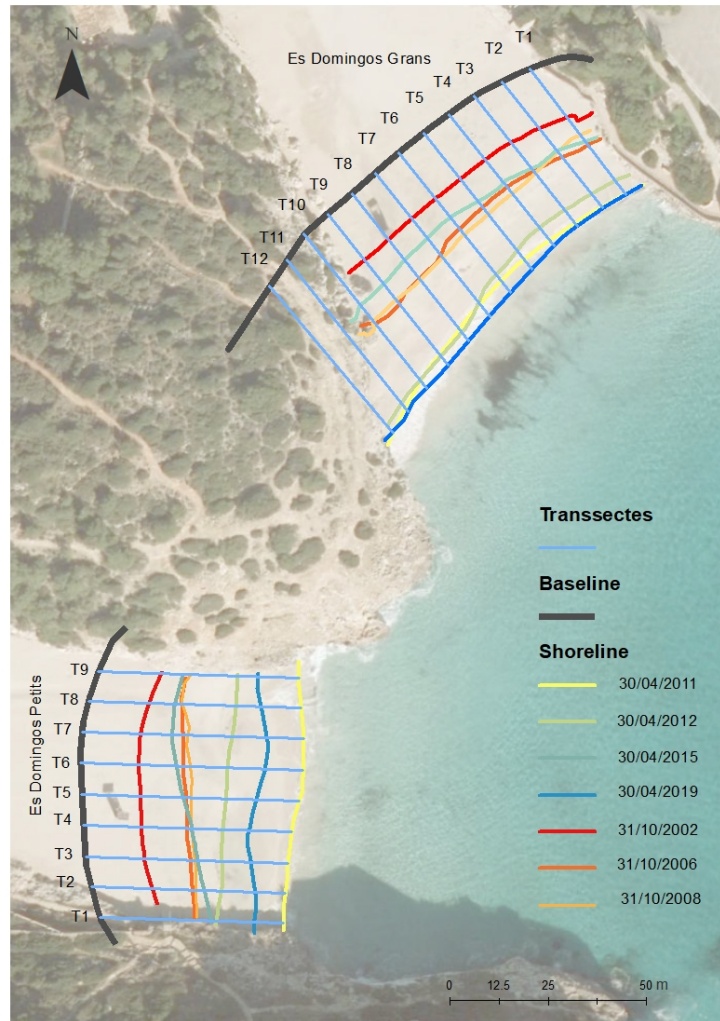


Figura 6. Línia base i línies de costa digitalitzades, amb els transectes generats per DSAS.

S'han calculat quatre paràmetres estadístics a partir dels punts de mesura de cada transecte. Per calcular els canvis en la línia de costa s'han utilitzat, per una banda, el *Shoreline Change Envelope* que mostra un valor de distància en metres, que és la variació total absoluta de la línia de costa, i el *Net Shoreline Movement* que representa també un valor de distància, entre la línia de costa més antiga i la més actual. En canvi per calcular taxes anuals d'acreció i/ò erosió s'han utilitzat altres dos paràmetres. L'*End Point Rate* mostra les taxes (m any^{-1}) d'erosió (valors negatius) o accreció (valors positius). Es calcula dividint la distància de moviment de costa NSM de cada transecte, pel temps transcorregut entre la línia de costa més antiga i la més recent. El desavantatge d'aquest paràmetre és que ignora la informació i les dades disponibles entre els anys que no es tenen en compte en el NSM. Per tant, segons, Dolan et al. (1991) es poden perdre canvis de signe (per exemple, l'acreció o l'erosió), de magnitud o tendències cícliques. Per contrastar l'*End Point Rate*, és necessari calcular el *Linear Regression Rate*. Aquest es calcula a través de la intersecció de tots els punts de cada transecte, i el pendent constitueix la taxa de canvi expressada en m any^{-1} (Thieler et al., 2009). L'índex de regressió lineal, actua de filtre de pas baix i atenua els canvis produïts per fets puntuals, que després quedaran reduïts per la dinàmica anual.

Els resultats obtinguts s'han relacionat amb dades d'onatge de Ports de L'Estat, recollides al punt SIMAR 2124113. El conjunt de dades SIMAR està format per sèries temporals de paràmetres de vent, onatge i nivell de la mar. Aquestes dades es generen mitjançant models numèrics, per tant, les dades són extrapolacions fetes a partir de mesures directes.

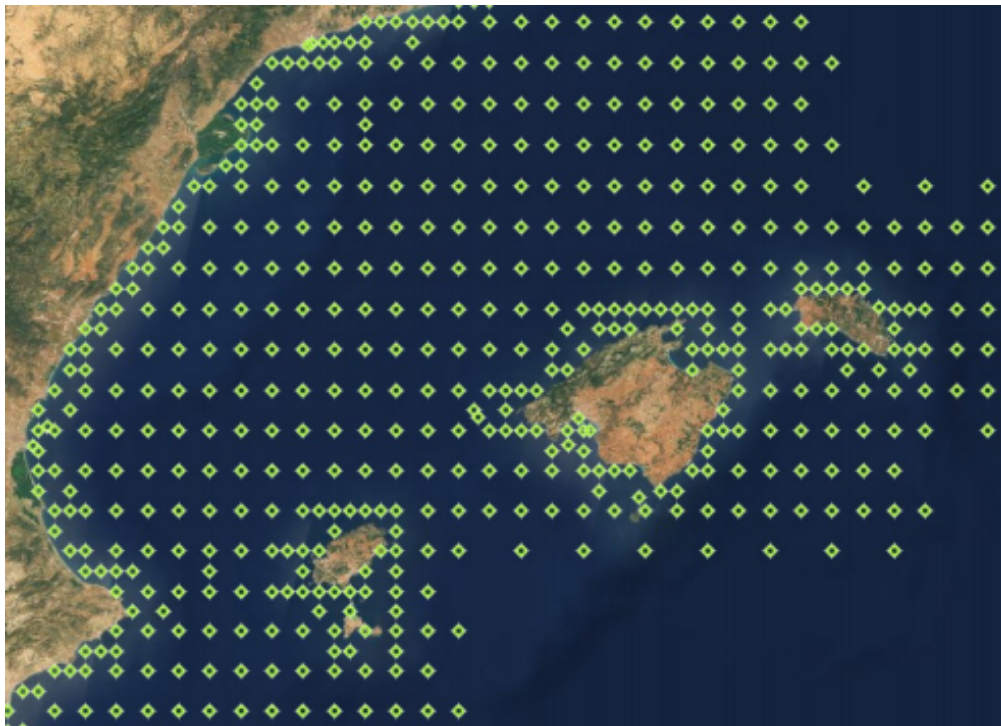


Figura 7. Exemple de densitat dels nodes SIMAR al mediterrani (Puertos del Estado, 2020).

S'han analitzat les dades dels gràfics de sèries temporals, tant d'alçada màxima (H_s) d'onatge (figura 7.a) com de direcció (figura 7.b), a escala horària (2001-2019). El registre d'ones s'analitza des del 2001, per poder comprendre la situació inicial de la línia de costa de les platges per el període d'estudi (2002-2019). El darrer registre analitzat és del 30/04/2019, datació de la darrera orto-foto considerada. També s'han obtingut els valors mitjans d'altura d'onatge mensual, les taules d'altura significativa (H_s) i període (T_p) vs. direcció de les ones, i les roses d'onatge.

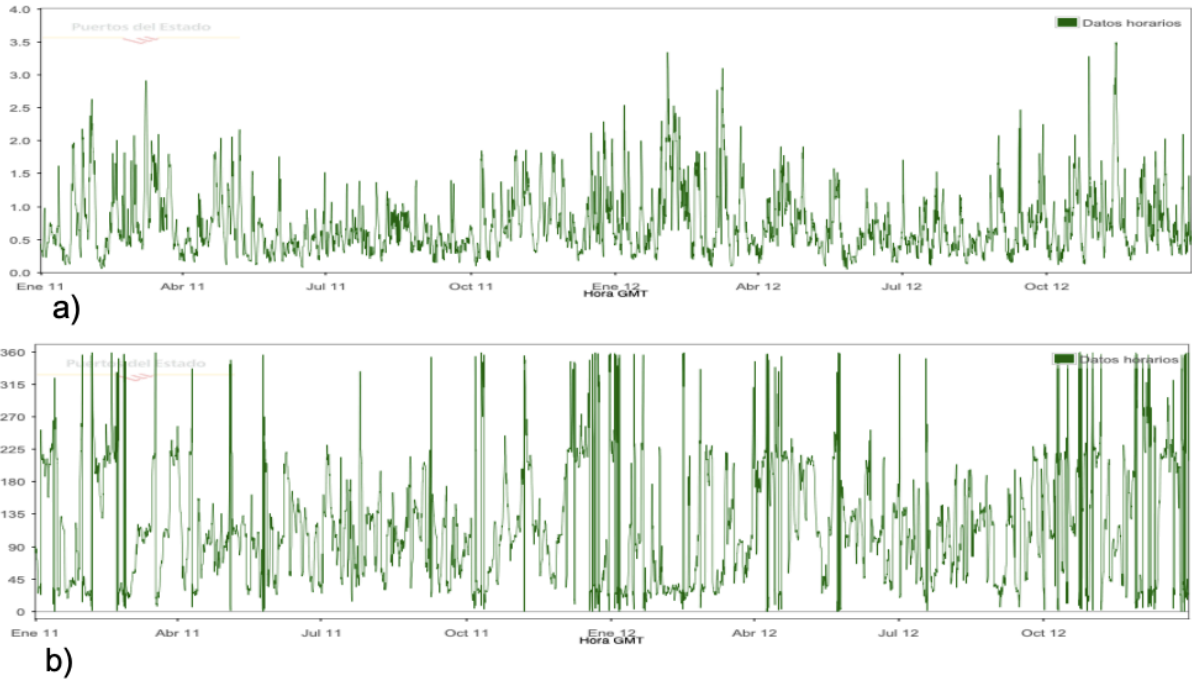


Figura 8. Gràfics de sèries temporals d'onatge (recull horari): alçada (a) i direcció (b) (Puertos del Estado).

A cada temporal (figura 8.a) es pot apreciar quan comença aquest, l'augment de l'altura de l'onatge fins arribar a un valor màxim, i el seu posterior descens fins finalitzar el temporal. També es pot produir més d'un màxim, amb descensos i posteriors ascensos d'altura (encara que només hi ha un màxim absolut) (Romero et al., 2011). Aquest màxim absolut (>2'5 m Hs) de cada temporal, és el que s'ha extret per la posterior anàlisi.

Encara que el node SIMAR 2124113 (figura 1.b) és un dels nodes més propers a l'àrea d'estudi, el fet de trobar-se posicionat allunyat de la costa, fa que pugui presentar valors de direcció d'onatge que no afecten a l'orientació de les dues platges. Per tenir una major precisió dels resultats s'han seleccionat només les dades d'onatges amb direccions compreses entre els 40° NE i els 175° SSE, que són els que segons la figura 3, tenen incidència directa a la cala.

RESULTATS

Variació de la línia de costa (2002-2019)

El paràmetre *Shoreline change Envelope* (figura 9.a) mostra una variació absoluta mitjana de la línia de costa per Es Domingos Grans de 24'87 m. La seva variació oscil·la entre 34'45 m (T.9) i 2'45 m (T.12). Per altra banda, la zona que presenta una major variabilitat és aquella localitzada entre els transectes 6 i 9.

A Es Domingos Petits s'obté un valor absolut mitjà de variació de línia de costa de 36'27 m. Aquesta variació oscil·la entre els 42'03 m (T.6) i 18'63 m (T.1). L'àrea amb major variabilitat de la platja és aquella corresponent als transectes 5 i 7.

En els extrems meridionals de les dues platges es troben els valors inferiors de *Shoreline Change Envelope*, aquests es corresponen a transsectes situats en àrees on no arriben totes les línies de costa. Això és a causa del fet que la morfologia de les platges i la cala s'eixampla a mesura que l'acreció d'aquesta augmenta.

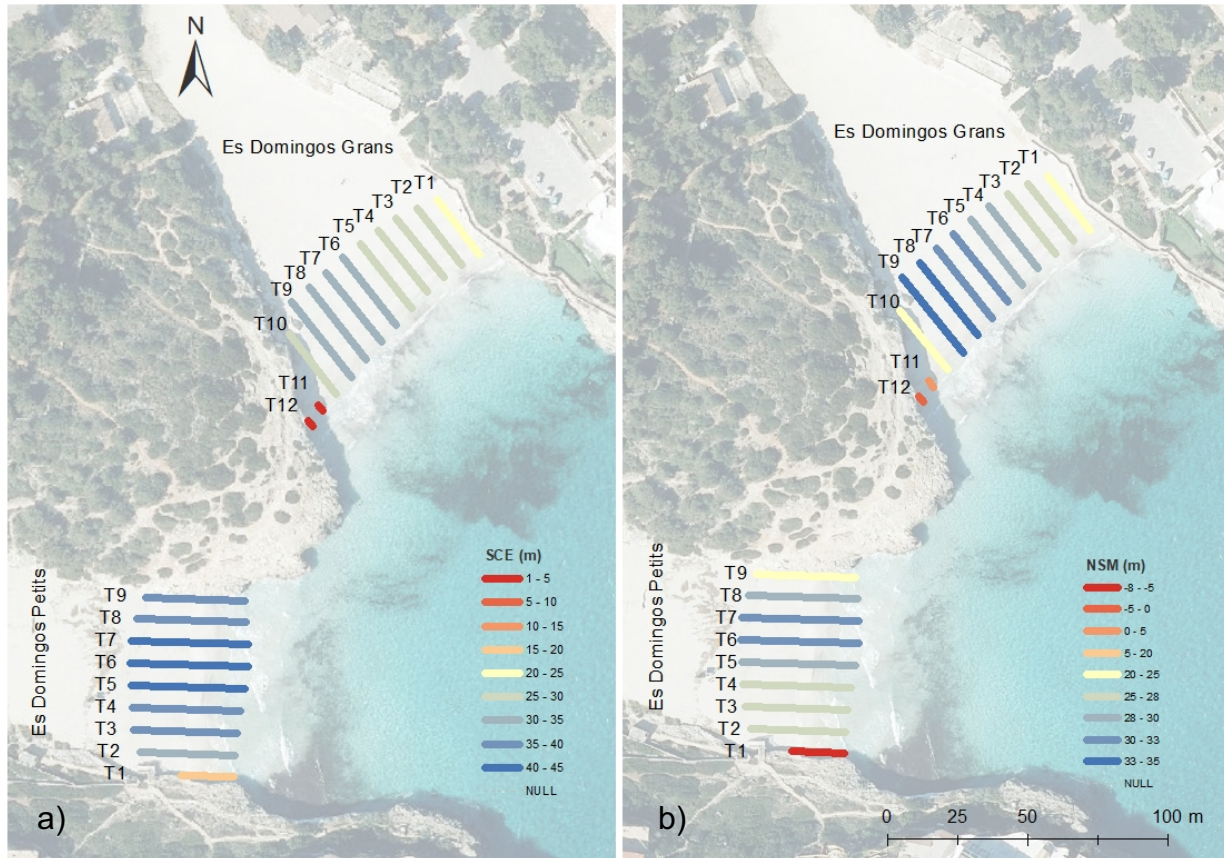


Figura 9. Mapa d'Es Domingos Grans i Es Domingos Petits del (a) *Shoreline Change Envelope* (SCE) i (b) *Net Shoreline Movement* (NSM).

Es Domingos Grans obté un valor mitjà de *Net Shoreline Movement* (figura 9.b) de 24 m. El 91'67% dels transsectes d'Es Domingos Grans són positius i només el 8'33% són negatius. Els valors màxims positius corresponen al T9 amb 34'45 m, i el valor mínim, -0'36m pertany al transsecte 12.

Es Domingos Petits mostra un valor mitjà de *Net Shoreline Movement* de 24'5m. Amb un 88'89% dels transsectes amb valors positius, i un 11'11% negatius. El valor màxim correspon al transsecte 7 (32'22 m) i el valor mínim al transsecte 1 (-7'44 m).

Els valors inferiors de *Net Shoreline Movement*, corresponen a zones on l'acreció i l'obertura de la cala, ha creat una línia de costa més ampla, per tant, aquestes línies de costa més actuals arriben a transsectes on les altres línies no arriben (per les limitacions de la morfologia de la platja). Els valors més elevats en aquest paràmetre es troben a Es Domingos Grans.

Tendències d'acreció - erosió (2002-2019)

Es Domingos Grans presenta una taxa mitjana d'acreció *End Point Rate* (figura 10.a) de 1'49 m any⁻¹ amb una incertesa de $\pm 0'06$. El 91'67% dels seus transectes presenten accreió, amb un valor màxim d'acreció (2'09 m any⁻¹) en el transecte 9. Només el transecte 12, té una taxa negativa (-0.05 m any⁻¹). Prieto et al. (2018) consideren els valors dins el llinar de -0.5 a 0.5 m any⁻¹ com valors d'estabilitat de platja.

Es Domingos Petits, també presenta un procés d'acreció en el 88'89% dels transectes, amb una mitjana *End Point Rate* de 1'43 m any⁻¹ i una incertesa de $\pm 0'07$. El valor màxim (T.7) és de 1'95 m any⁻¹. Només el transecte 1, presenta un valor negatiu de -0'93 m any⁻¹ (erosió).

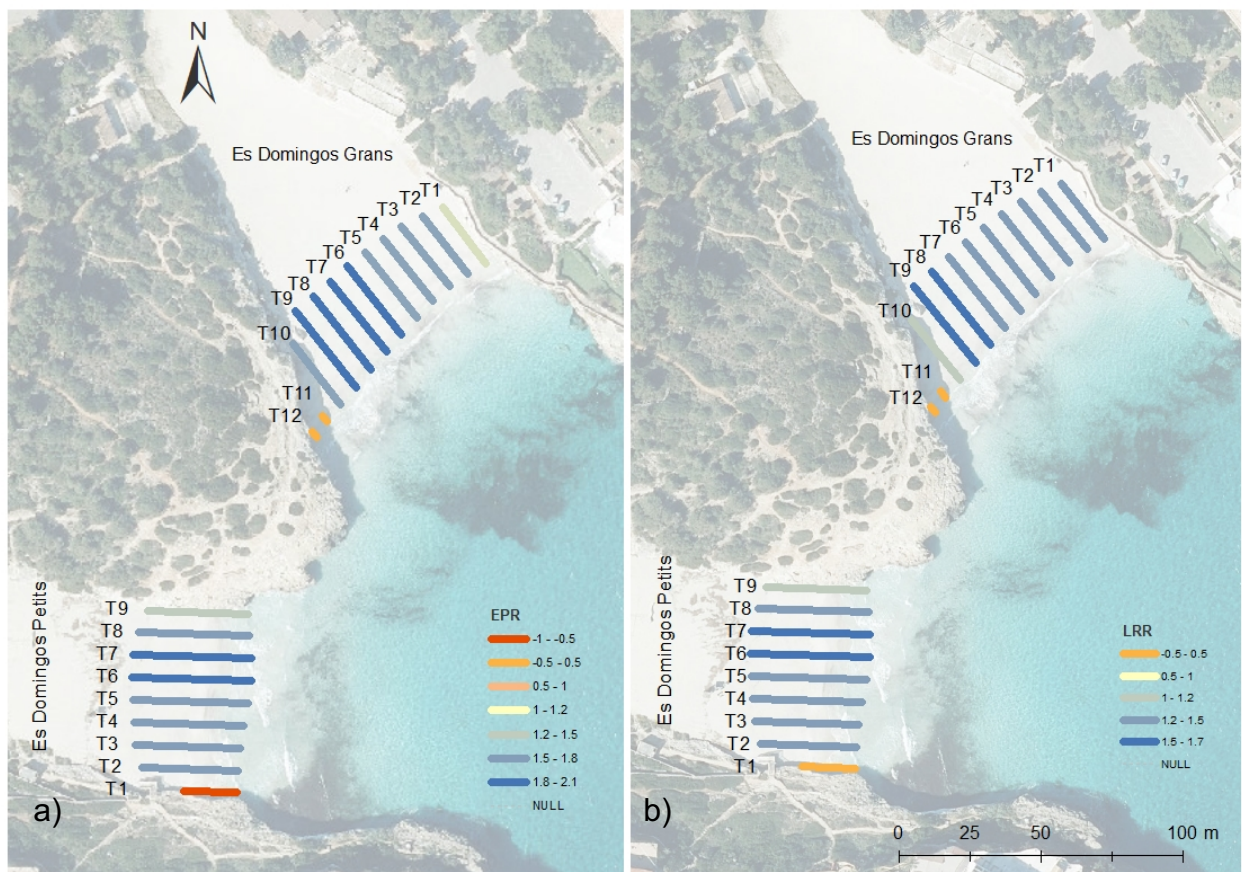


Figura 10. Mapa d'Es Domingos Grans i Es Domingos Petits del (a) *End Point Rate* (EPR) i (b) *Linear Regression Rate* (LRR).

L'índex de regressió lineal (figura 10.b) confirma les tendències observades per l'*End Point Rate* encara que suavitza un poc les xifres. Es Domingos Grans, mostra una tendència d'acreció amb una taxa mitjana de 1'19 m any⁻¹ amb una incertesa de $\pm 1'05$. Tots els seus transectes obtenen valors positius, i el 50% d'aquests, presenten estadísticament una accreió significant. El màxim d'acreció es situa en el T.9 amb una taxa de 1'62 m any⁻¹.

Es Domingos Petits també presenta una taxa mitjana d'acreció de *Linear Regression Rate* (1'23 m any⁻¹) i una incertesa de $\pm 2'21$. El 88'89% dels transectes presenten accreió, dels quals un 11'11% presenten una accreió significant. El valor màxim d'acreció (T.6) presenta una taxa de 1'57 m any⁻¹. Només el transecte 1 presenta un valor negatiu de -0'27 m any⁻¹, que està dintre de l'interval d'estabilitat de platja.

Evolució superfície de la platja seca i línia de costa per subperíodes

Durant els anys 2002-2019, l'evolució de les platges d'Es Domingos Grans i Es Domingos Petits, han presentat sis períodes de comportament distints (figura 11 i 12):

Es Domingos Grans (figura 11) mostra un valor inicial de 7.071 m² (2002) que augmenta considerablement fins a 7.859 m² en el 2006. En el període 2006-2008, l'increment no és gaire notable (+22'77 m²) encara que, en el 2011 mostren un creixement elevat que assoleix els 9.317 m². Posteriorment, hi ha dos períodes de reducció de superfície de platja (2011-2012 i 2012-2015). En el primer, el decreixement és menys important (-189 m²) que en el segon (-1.528 m²). Establint una àrea de 7.601 m² de platja. Per acabar, entre 2012 i 2019, s'observa el creixement més elevat de tot el període d'estudi (+1.928 m²) que estableix un màxim de superfície de platja seca per aquesta platja, amb un valor de 9.529 m².

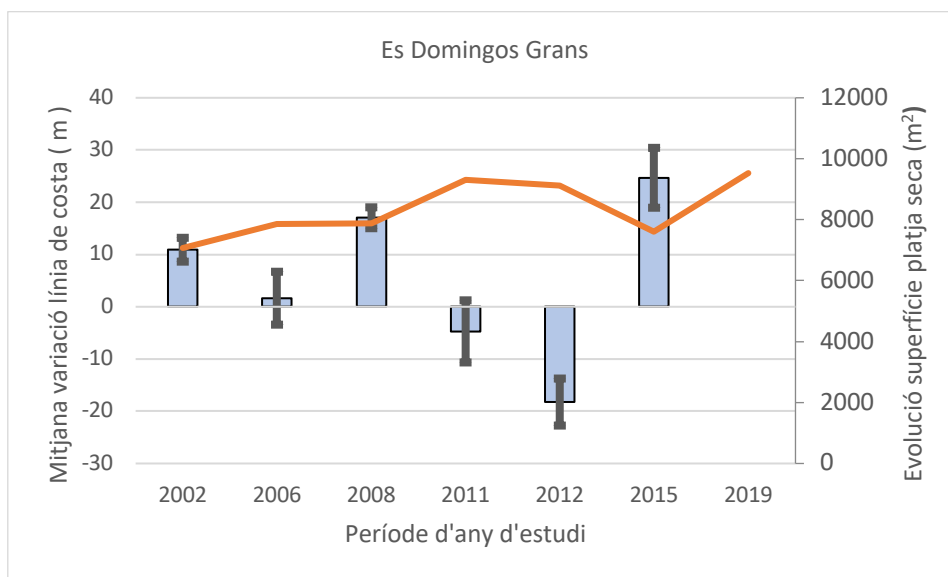


Figura 11. Mitjana de variació línia de costa (m) amb barres d'error (\pm desviació estàndard) i evolució de la superfície platja seca (m²) Es Domingos Grans entre 2002 i 2019.

En el cas d'Es Domingos Petits (figura 12), l'estat inicial és de 5.223 m², que augmenta considerablement fins al 2006 a 5.870 m². En el període 2006-2008, s'observa un increment mínim de 65 m², que enllaça amb l'increment més elevat (+1.732 m²) d'aquesta unitat, assolint també, la xifra més elevada de superfície de platja seca per Es Domingos Petits (7.668 m²) en el 2011. A partir d'aquest punt, es mostren dos períodes d'anys amb pèrdua d'àrea (2011-2021 i 2012-2015) amb decreixements de -1.151 m² i -635 m², respectivament. En el 2015 la superfície de platja és de 5.881m², que augmenta fins al 2019, arribant a la xifra de 7.038 m².

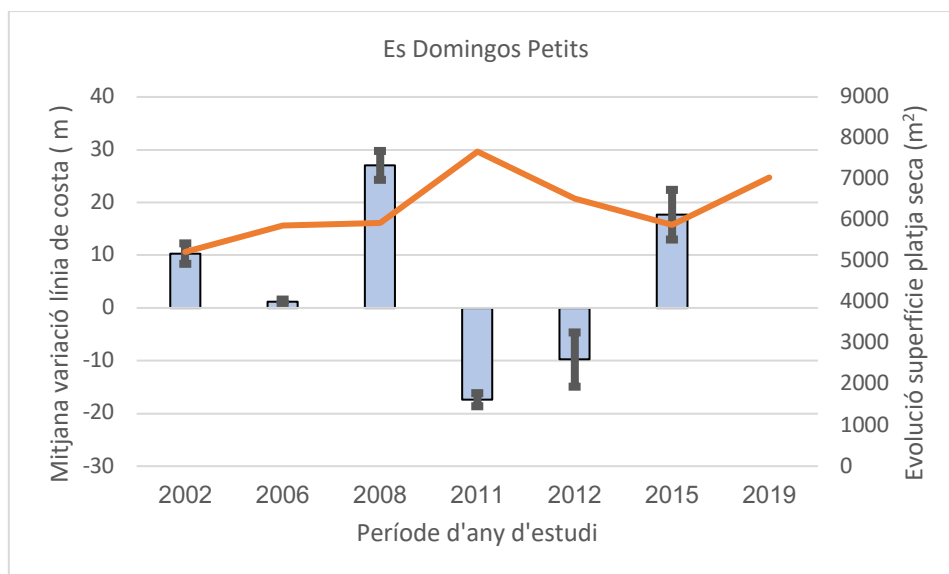


Figura 12. Mitjana de variació línia de costa (m) amb barres d'error (\pm desviació estàndard) i evolució de la superfície platja seca (m²) Es Domingos Petits entre 2002 i 2019.

El comportament de l'evolució de la línia de costa de les dues cales, és molt similar (figura 13) la correlació entre les dues unitats d'estudi, és molt elevada, amb un valor R² de 0'8554. Per tant, les dues platges presenten una correlació lineal positiva.

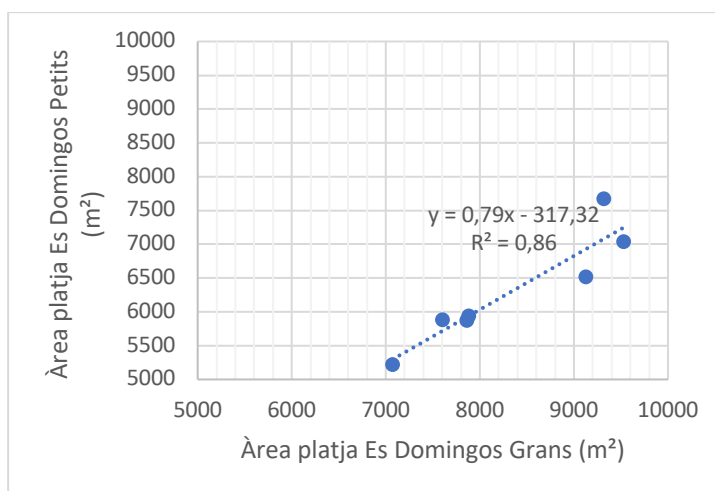


Figura 13. Diagrama de dispersió superfícies de platja seca (m²) de les dues cales, període d'estudi 2002-2019.

Registres d'onatge (2001-2019)

El règim d'onatges predominants (figura 14) és de component NE, amb una freqüència del 26%, els onatges amb component E, presenten una freqüència menor amb un 21%, mentre que els de component SE representen el 17%. Els components de E i SE són els que incideixen de forma més directa a la cala, en canvi de manera més indirecta predominen els temporals del NE.

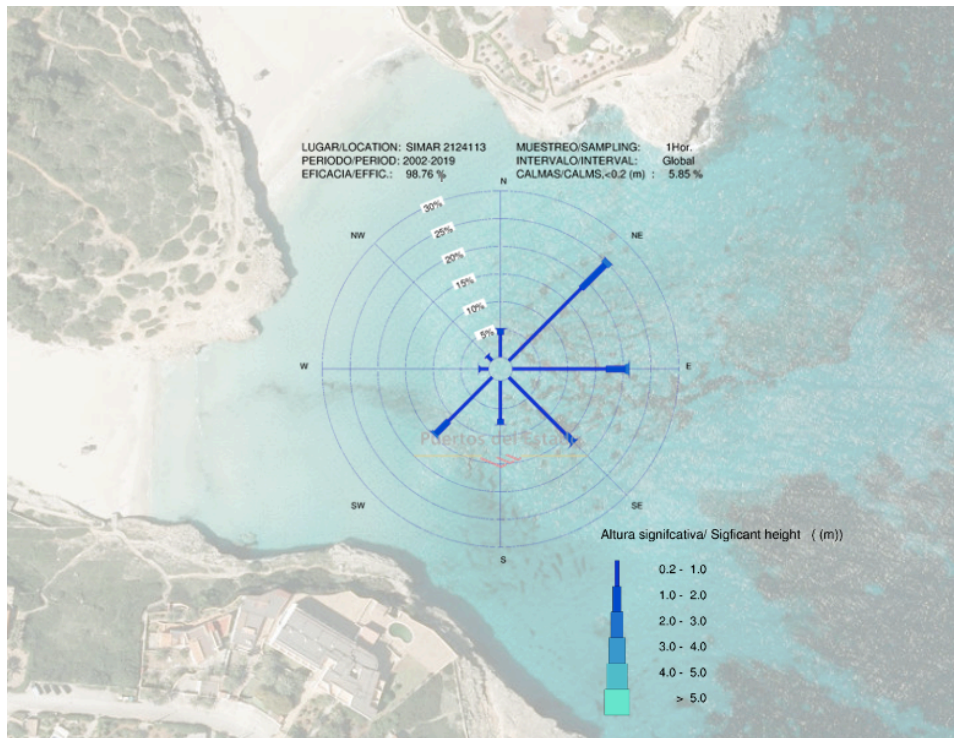


Figura 14. Rosa d'onatge amb les direccions d'onatge i altura significativa (període 2001-2019) del punt SIMAR 2124113 (Puertos del Estado).

Entre el 2001 i el 2009 s'han registrat 40 pics d'onatges màxims absoluts > 2'5 m d'alçada (figura 15 i taula 2) amb una mitjana de 3'27 m (Hs) i una desviació estàndard $\pm 0'64$. Tots aquests valors d'onatge oscil·len entre els components 40° NE i els 160° SSE.

Els valors mitjans mensuals no solen superar el metre d'altura, amb una mitjana (2001-2019) de 0'71 m (Hs) i una desviació estàndard de $\pm 0'19$. Separant el període d'estudi en dues parts (2001-2010) i (2011-2019) es pot identificar un augment de la mitjana d'alçada d'onatge mensual. Amb un valor de 0'68 m entre 2001-2010 (desviació estàndard $\pm 0,16$) i un valor 0'75 m (desviació estàndard $\pm 0'21$) entre 2011-2019.

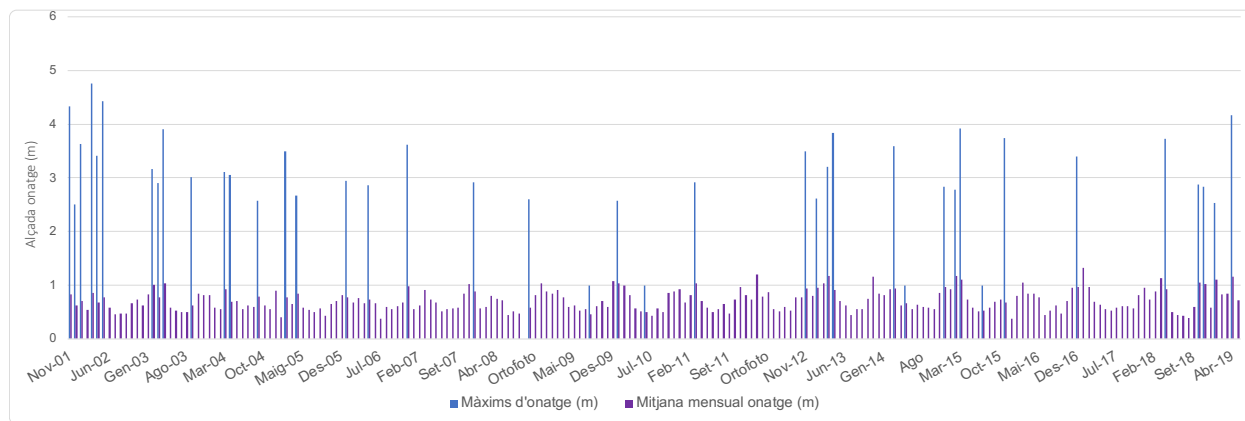


Figura 15. Registre d'onatges màxims absoluts (>2'5 m) dins l'interval de component (40°NE-175°SSE), i registre de mitjanes d'onatge mensuals (2001-2019).

Data	Nov-01	Des-01	Gen-02	Mar-02	Abr-02	Mai-02	Feb-03	Mar-03	Abr-03	Set-03	Mar-04	Mar-04	Abr-04	Set-04	Feb-05	Abr-05	Gen-06	Mai-06	Des-06	Des-07	Oct-08
Alçada (m)	4,33	2,5	3,63	4,76	3,41	4,43	3,16	2,9	3,91	3,01	2,53	3,11	3,05	2,58	3,5	2,67	2,95	2,86	3,61	2,91	2,6
Direcció	70	122	105	116	111	112	112	103	105	124	99	114	96	117	97	108	64	90	43	63	59
Data	Gen-10	Mar-11	Nov-12	Gen-13	Mar-13	Abr-13	Mar-14	Des-14	Feb-15	Mar-15	Nov-15	Des-16	Des-16	Gen-17	Abr-18	Oct-18	Nov-18	Gen-19	Abr-19	Abr-19	Abr-19
Alçada (m)	2,58	2,91	3,49	2,61	3,2	3,84	3,59	2,84	2,78	3,92	3,74	3,06	3,4	5,19	3,72	2,88	2,84	2,53	2,79	4,16	3,03
Direcció	130	115	94	40	137	105	115	77	41	101	120	104	104	79	160	123	79	58	108	97	94

Taula 2. Taula amb els valors màxims absoluts d'onatge (figura 15) i la seva direcció de procedència (graus).

DISCUSSIÓ

Com demostren els resultats, la tendència a mitjà termini, a les dues platges, és d'acreció. Encara que a més curt termini (figura 11 i 12) poden presentar alguns episodis erosius. Els valors de regressió lineal mitjans de les dues platges són $1'19 \text{ m any}^{-1}$ per Es Domingos Grans, i $1'23 \text{ m any}^{-1}$ per Es Domingos Petits. Aquests valors es troben dins el rang de valors normals de *Linear Regression Rate* de les platges del SE i les platges encaixades de Mallorca. Gómez-Pujol et al. (2018) estableixen el valor de *Linear Regression Rate* mitjà entorn als 0.9 m any^{-1} , en un interval de valors normals que varien de $-0'27$ a $2'1 \text{ m any}^{-1}$. Així doncs, les dades obtingudes a les dues platges encaixades, es situen per damunt de la mitjana de *Linear Regression Rate* de Mallorca, en funció a la seva localització i tipologia de platja.

El transecte 1 d'Es Domingos Petits, és el punt on es registra un valor de *Linear Regression Rate* menor ($-0'27 \text{ m any}^{-1}$). Encara que, es troba dins els valors d'estabilitat de platja, és un valor negatiu, que pot estar relacionat per la seva posició dins l'àrea d'estudi i l'exposició més vulnerable d'aquell tram de platja a l'efecte de l'onatge. No obstant això, els valors obtinguts entren dins la dinàmica natural d'acreció-erosió de la platja.

Per altra banda, la variació màxima *Shoreline Change Envelope* que presenten les dues platges és alta (figura 9.b), amb una mitjana de 36 m (Es Domingos Grans) i 25 m (Es Domingos Petits). En comparació, la mitjana (SCE) de la platja de Es Trenc per al període (1973-2015) és de 25'27 m (Prieto et al., 2018). Per tant, es pot dir que les platges d'Es Domingos Grans i Es Domingos petits tenen una variació igual (Es Domingos Grans) i major (Es Domingos Petits) que Es Trenc, en un període de temps molt més reduït. Alvarez et al. (2011) han demostrat que a les platges carbonatades de contribució fluvial insignificant, els canvis significatius en la morfologia i en el sediment es donen per acció d'ones que superen certa intensitat i duració ($H_s > 1 \text{ m}$; 6 h). Per tant, l'orientació de les platges (figura 3), la

freqüència i la intensitat de l'onatge predominant són elements claus en la variació de la línia de costa. Es Domingos Grans amb una orientació predominant SE, rep la influència dels onatges del SE, i E. En canvi, Es Domingos Petits, està exposada a la incidència directa de les ones de component E, encara que a l'àrea més meridional de la cala rep onatges del NE. Les direccions predominants d'onatge (figura 14) són del NE (25%), del E (21%), i del SE (17%). Així doncs, la rosa d'onatge del punt SIMAR, posa de manifest que la platja que rep major freqüència d'ones (Es Domingos Petits) presenta un major moviment de la línia de costa.

Com s'observa a les figures 11 i 12, entre 2002 i 2019, hi ha certs punts on la tendència de creixement de la platja seca es troba interrompuda. El fet de disposar de dades no contínues de superfície de platja seca, fa que la relació amb esdeveniments concrets sigui molt difícil. Encara que hi ha autors que estableixen que aquests processos poden estar lligats a fenòmens extrems de baixa probabilitat (Ojeda, 2000) on gran part del sediment torna al sistema litoral quan passa l'esdeveniment i canvien les condicions hidrodinàmiques.

Els mínims de superfície de platja seca per ambdues platges es troben a l'inici de l'estudi (2002). Segons la figura 16 a, aquesta posició tan enrederida de la línia de costa podria ser conseqüència d'una sèrie de registres màxims d'onatge de component E i SE en els mesos anteriors a la data de la orto-foto d'estudi. Pilares et al. (2015) registra en aquest mateix període de temps els mínims de platja seca a Cala Millor, per la gran pèrdua d'arena associada a "*la borrasca més intensa del Mediterrani occidental des de 1950* (Pilares et al., 2015)", entre els dies 10 i 11 de novembre de 2001, que va deixar al descobert l'aflorament rocallós de la platja. A la figura 16, es pot identificar un episodi d'onatge extrem el 11 de novembre de 2001 amb un registre de 4'33 m de direcció 70° ENE.

Els dos períodes següents (figura 16. b i c) són dos intervals de temps on no hi ha gran concentració de temporals, i els pocs que hi ha, no són pròxims a les orto-fotos del 2006 i 2008. Entre l'any 2008-2011 es produeix una forta acreció a les dues platges, +1435 m² (Es Domingos Petits) i +1732 m² (Es Domingos Grans), és també el període de temps amb menys onatges extrems, només hi ha un pic d'onatge superior a 2'5m (9/03/2011) amb valor de 2'91 m (Hs) de component 115° SE (figura 16. d).

En el període (2011-2012) no hi ha una correlació entre onatge i retrocés de la línia de costa, encara que es pot observar (figura 16 e) que dos mesos abans de la orto-foto, hi ha un registre de mitjana mensual molt elevat (1'2 m). L'any 2012 presenta grans temporals de component nord nord-est amb direccions 25°-37°, que poden explicar la gran pèrdua d'arena (-1151 m²) d'Es Domingos Petits. Es Domingos Grans té una pèrdua molt inferior (-189 m²).

Entre 2012-2015 hi ha un fort retrocés de la línia de costa, a les dues platges, encara que és més notable a n'Es Domingos Grans que a n'Es Domingos Petits (figura 11 i 12). En aquest interval de temps hi ha vuit episodis d'onatges forts i quatre d'aquests són de component ESE. El més pròxim a la orto-foto és del 20/03/2015, amb un valor màxim d'onatge de 3'92 m component 101° ESE.

En el darrer període d'estudi (2015-2019) s'observen dades de creixement de platja importants (figures 11 i 12) amb un increment per Es Domingos Grans de +1928 m², i de +1157 m² per Es Domingos Petits. Al mateix temps hi ha vuit forts temporals repartits en aquest interval de temps, amb una mitjana de valors màxims de 3'57 m (Hs), les direccions

predominants d'aquests onatges són de E-NE, i del SE. En aquest cas, no hi ha una correlació visible entre onatge i variació de la platja.

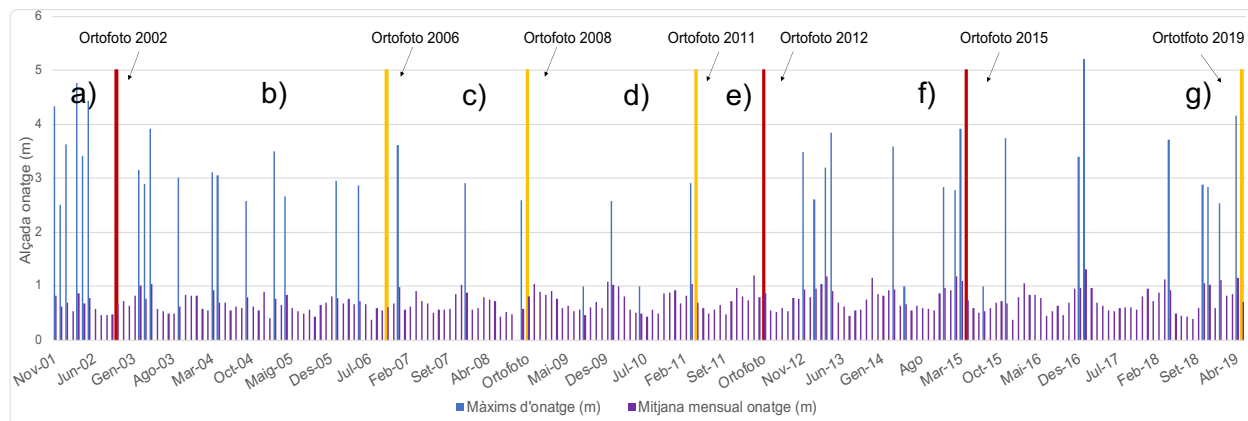


Figura 16. Gràfic de registre d'onatges màxims (>2'5 m) dins l'interval de component (40°NE-175°SSE), i registre de mitjanes d'onatge mensuals (2001-2019). Amb la situació temporal de cada orto-foto i el procés d'erosió (vermell) o acreció (groc) de l'interval.

CONCLUSIÓ

L'anàlisi de les orto-fotografies de distintes dates (2002-2019) ha permès establir l'evolució a mitjà termini de les platges d'Es Domingos Grans i Es Domingos Petits.

Les dues platges encaixades es caracteritzen per presentar un procés d'acreció a la platja seca i per tant de la línia de costa, amb taxes que es troben per sobre els valors mitjans de les platges encaixades del sud-est de Mallorca. Les característiques físiques semblants de les dues platges, fan que mostrin respostes similars en els processos experimentats i en l'evolució, per tant, presenten una forta correlació lineal positiva.

La variació de la línia de costa a n'Es Domingos Grans i Petits és elevada, i varia d'un any a l'altre, per això és difícil fer previsions a curt termini.

L'onatge funciona com agent modelador d'aquestes platges i genera processos d'acreció a mitjà termini, interromputs per esdeveniments puntuals erosius. Encara que no es demostra una correlació determinant entre onatge i línia de costa, pel fet que no són l'únic factor que intervé. La identificació dels processos originats per l'onatge, és complexa, ja que poden formar part de processos cíclics i/o de baixa freqüència. Es Domingos Grans i Es Domingos Petits demostren que la seva pròpia dinàmica natural, recupera l'estat inicial de la platja i la seva tendència de creixement, després dels esdeveniments o períodes més erosius.

No obstant això, aquest estudi presenta algunes limitacions, la tècnica utilitzada només permet analitzar una part del sistema "platja", que correspon a la platja seca. La platja submergida que és una part important del sistema, no es pot estudiar, per tant falta informació i dades que podrien donar una precisió major als resultats obtinguts. Per altra banda, la dinàmica de les platges analitzades, s'ha realitzat exclusivament, des del punt de vista morfològic i per la influència de les ones, deixant de banda altres factors que també influeixen, tals com l'activitat antròpica, els esdeveniments torrencials, la presència de posidònia o el règim eòlic. Per tant, com que no s'introdueixen a l'estudi, els resultats obtinguts no poden explicar al complet la variació de les platges.

AGRAÏMENTS

En primer lloc m'agradaria expressar el més sincer agraïment al Sr. Julián García Comendador, tutor de l'actual Treball de Fi de Grau. Per la seva implicació, disponibilitat i suport, per tal d'aconseguir l'objectiu final proposat. La situació d'enguany ha estat molt difícil, però finalment, l'hem pogut superar.

M'agradaria agrair al Dr. Lluís Gómez Pujol, per la seva orientació inicial que em va facilitar eines i recursos per descobrir el món de la geomorfologia litoral. Reconèixer i agrair l'ajuda del meu germà, Eduard Cabalín Manresa, que conjuntament, de manera autodidàctica hem anat solucionant problemes informàtics, i ens hem format en l'ús del *Digital Shoreline Analysis System*.

Sense oblidar, el suport moral de la meva mare, la meva família i de tots els amics, que s'han preocupat i interessat per la meva tasca i han estat sempre al meu costat.

ANNEX

<i>Shoreline Change Envelope (SCE)</i>	EDG	EDP
Nº total transsectes	12	9
Distància mitjana	24'87	36'27
Distància màxima	34'45	42'03
Transsecte dist. Màxima	9	6
Distància mínima	2'45	18'63
Transsecte dist. Mínima	12	1
<i>Net Shoreline Movement (NSM)</i>		
Nº total transsectes	12	9
average distance: 24.55	24'01	24'55
Trans. amb dist.negativa	1	1
% transsectes negatius	8'33%	11'11%
Distància negativa màx.	-0'36	-7'44
Trans. dist.negativa màx.	12	1
Mitjana trans. Negatius	-0'36	-7'44
Trans. amb dist.positiva	11	8
% transsectes positius	91'67%	88'89%
Distància positiva màx.	34'45	32'22
Trans. dist.positiva màx.	9	7
Mitjana trans. positius	26'22	28'55

Taula 3: Valors *Shoreline Change Envelope (m)* i *Net Shoreline Movement (m)* per *Es Domingos Grans (EDG)* i *Es Domingos Petits (EDP)*.

End Point Rate (EPR)	EDG	EDP
Nº total transectes	12	9
Taxa mitjana	1'49	1'43
Mitjana interval de confiança associat a les taxes	0'06	0'07
Nº transectes independents	1	1
Uncertainty	0'06	0'07
Taxa mitjana amb Uncertainty	1'49 +/-0'06	1'43 +/-0'07
Nº de transectes amb erosió	1	1
% transectes que presenten erosió	8'33%	11'11%
% trans. que presenten erosió significativa	0%	11.11%
valor màxim d'erosió	-0'05	-0'93
Transecte amb taxa d'erosió major	12	1
Mitjana de tots els trans. que presenten erosió	-0'05	-0'93
Nº de transectes amb acreció	11	8
% transectes que presenten acreció	91'67%	88'89%
% trans. que presenten acreció significativa	91'67%	88'89%
Valor màxim acreció	2'09	1'95
Transecte amb taxa d'acreció major	9	7
Mitjana de totes les taxes d'acreció	1'63	1'73

Taula 4: Valors End Point Rate ($m any^{-1}$) per Es Domingos Grans (EDG) i Es Domingos Petits (EDP).

Linear Regression Rate (LRR)	EDG	EDP
Nº total transectes	12	9
Taxa mitjana	1'9	1'23
Mitjana interval de confiança associat a les taxes	1'52	2'21
Nº transectes independents	2	1
Uncertainty	1'05	2'21
Taxa mitjana amb Uncertainty	1'19 +/-1'05	1'23 +/-2'21
Nº de transectes amb erosió	0	1
% transectes que presenten erosió	0%	11'11%
% trans. que presenten erosió significativa	0%	0%
valor màxim d'erosió	-	-0'27
Transecte amb taxa d'erosió major	-	1
Mitjana de tots els trans. que presenten erosió	-	-0'27
Nº de transectes amb acreció	12	8
% transectes que presenten acreció	100%	88'89%
% trans. que presenten acreció significativa	50%	11'11%
Valor màxim acreció	1'62	1'57
Transecte amb taxa d'acreció major	9	6
Mitjana de totes les taxes d'acreció	1'19	1'42

Taula 5. Valors Linear Regression Rate ($m any^{-1}$) per Es Domingos Grans (EDG) i Es Domingos Petits (EDP).

BIBLIOGRAFIA

- Alina K. Kabuth, Aart Kroon, J. B. T. P. (2013). Multidecadal Shoreline Changes in Denmark. *Journal of Coastal Research*. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-13-00139.1>
- Alvarez-Ellacuria, A., Orfila, A., Gómez-Pujol, L., Simarro, G., & Obregon, N. (2011). Decoupling spatial and temporal patterns in short-term beach shoreline response to wave climate. *Geomorphology*, 128(3–4), 199–208. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2011.01.008>
- Amengual, M. G. (2014). *Efecte del canvi climàtic en platges encaixades a Catalunya*. Universitat Politècnica de Barcelona.
- Bowman, D., Rosas, V., & Pranzini, E. (2014). Pocket beaches of Elba Island (Italy) - Planview geometry, depth of closure and sediment dispersal. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 138, 37–46. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2013.12.005>
- C. A. M. King. (1951). Depth of Disturbance of Sand on Sea Beaches by Waves. *SEPM Journal of Sedimentary Research*. <https://doi.org/10.1306/d4269445-2b26-11d7-8648000102c1865d>
- Cenci, L., Disperati, L., Sousa, L. P., Phillips, M., & Alve, F. L. (2013). Geomatics for Integrated Coastal Zone Management: multitemporal shoreline analysis and future regional perspective for the Portuguese Central Region. *Journal of Coastal Research*. <https://doi.org/10.2112/si65-228.1>
- da Silva, G. V., Muler, M., Prado, M. F. V., Short, A. D., da Fontoura Klein, A. H., & Toldo, E. E. (2016). Shoreline Change Analysis and Insight into the Sediment Transport Path along Santa Catarina Island North Shore, Brazil. *Journal of Coastal Research*. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-15-00164.1>
- Dolan, R., Fenster, M. S., Holme, S. J., & Xww, B. X. (1991). Temporal Analysis of Shoreline Recession and Accretion. *Source: Journal of Coastal Research Journal of Coastal Research*.
- Dolan, R., Hayden, B. P., May, P., & May, S. (1980). RELIABILITY OF SHORELINE CHANGE MEASUREMENTS FROM AERIAL PHOTOGRAPHS. *Shore and Beach*.
- Fenster, M. S., Dolan, R., & Elder, J. F. (1993). A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*.
- Fletcher, C., Rooney, J., Barbee, M., Lim, S. C., & Richmond, B. (2003). Mapping Shoreline Change Using Digital Orthophotogrammetry on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*.
- Genz, A. S., Fletcher, C. H., Dunn, R. A., Frazer, L. N., & Rooney, J. J. (2007). The Predictive Accuracy of Shoreline Change Rate Methods and Alongshore Beach Variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*. <https://doi.org/10.2112/05-0521.1>
- Gómez-Pujol, L., Compà, M., Orfila, A., Álvarez-Ellacuría, A., Balaguer, P., Roig-Munar, F. X., Fornós, J. J., & Tintoré, J. (2017). The beaches of Menorca: Nature and distribution. In *Monografies de la Societat d'Historia Natural de les Balears*.
- Gómez-Pujol, Lluís, Balaguer, P., & Fornós, J. J. (2007). EL LITORAL DE MALLORCA: SÍNTESIS GEOMÓRFICA. *Mon. Soc. Hist. Nat. Balears*.

- Gómez-Pujol, Lluís, Orfila, A., Álvarez-Ellacuría, A., Terrados, J., & Tintoré, J. (2013). *Posidonia oceanica* beach-cast litter in Mediterranean beaches: a coastal videomonitoring study. *Journal of Coastal Research*, 165(65), 1768–1773. <https://doi.org/10.2112/si65-299.1>
- Gómez-Pujol, Lluís, Orfila, A., Morales-Márquez, V., Compa, M., Pereda, L., Fornós, J. J., & Tintoré, J. (2018). Beach systems of Balearic Islands: Nature, distribution and processes. In *The Spanish Coastal Systems: Dynamic Processes, Sediments and Management*. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2_12
- Gracia, F.J.; Anfuso, G.; Benavente, J.; Del Río, L.; Domínguez, L.; Martínez, J. A. (2017). *Monitoring coastal erosion at different temporal scales on sandy beaches: application to the Spanish Gulf of Cadiz coast* Author (s): F. J. Gracia, G. Anfuso, J. Benavente, L. Del Río, L. Domínguez and J. A. Martínez Source: *Journal of Coas*.
- Guijarro, J. A. (1986). *Contribucion a La Bioclimatologia De Baleares*. 225. <https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/5369/1/guijarroJA86-tesis.pdf>
- Guijarro, J. A. (2001). *Contribucion a La Bioclimatologia De Baleares*.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., & Farris, A. S. (2018). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide. *Open-File Report 2018-1179*.
- Ibarra, D., & Belmonte Serrato, F. (2017). *Comprendiendo el litoral: Dinámica y procesos*.
- Kim, M., Lim, H. S., Do, J.-D., Kim, S.-S., Lee, H. J., & Shim, J.-S. (2018). Variations of Nearshore Currents induced by Seasonal Waves in Haeundae. *Journal of Coastal Research*, 85(85), 1551–1555. <https://doi.org/10.2112/si85-311.1>
- Kuleli, T., Guneroglu, A., Karsli, F., & Dihkan, M. (2011). Automatic detection of shoreline change on coastal Ramsar wetlands of Turkey. *Ocean Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2011.05.006>
- Kumar, A., & Jayappa, K. S. (2009). Long and short-term shoreline changes along Mangalore Coast, India. *International Journal of Environmental Research*. <https://doi.org/10.22059/ijer.2009.46>
- Ley-Vega de Seoane, Carlos; Gallego-Fernández, Juan B; Vidal-Pascual, C. (2007). 2 - Procesos físicos. *Manual de Restauración de Dunas Costeras*, 20–73. https://www.miteco.gob.es/es/costas/publicaciones/cap02_procesos_fisicos_tcm30-161385.pdf
- Loureiro, C., Ferreira, Ó., Cooper, A. G., Loureirotoo, C., Ferreira, Ó., & Cooperi, J.-A. G. (2020). *Non-uniformity of storm impacts on three high-energy embayed beaches* Source: *Journal of Coastal Research*, SPECIAL ISSUE NO. 70. PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM 2014 (April 2014), pp. 326-331 Published by: *Coastal Education & Res.* 2014(70), 326–331.
- M.S. Nagdee, M. R., Nurse, L., Inniss, L., Chadwick, A., & Johnson, T. (2019). Historical Shoreline Mapping: Application of the Digital Shoreline Analysis System to the Evolution of Worthing Beach, Barbados, Following Hurricanes Allen (1980) and Ivan (2004). *Journal of Coastal Research*, 36(2), 313. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-18-00098.1>
- Martín Prieto, J. Á., Roig Munar, F. X., Rodríguez Perea, A., Pons Buades, G. X., Mir Gual,

- M., & Gelabert Ferrer, B. (2018). Análisis De La Evolución Histórica De La Línea De Costa De La Playa De Es Trenc (S. De Mallorca): Causas Y Consecuencias. *GeoFocus Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 1.1, 187–214. <https://doi.org/10.21138/gf.544>
- Mas Parera, L., & Blázquez Salom, M. (2005). An analysis of beaches' frequency of use and a study of associated sustainability-related parameters. *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, 45, 15–40.
- Morton, R. A., Miller, T., & Moore, L. (2005). Historical Shoreline Changes Along the US Gulf of Mexico: A Summary of Recent Shoreline Comparisons and Analyses. *Journal of Coastal Research*. <https://doi.org/10.2112/04-0230.1>
- Ojeda Zújar, J., Borgniet, L., Pérez Romero, A. M., & Loder, J. F. (2002). Monitoring morphological changes along the coast of Huelva (SW Spain) using soft-copy photogrammetry and GIS. *Journal of Coastal Conservation*. <https://doi.org/10.1007/BF02806586>
- Ojeda Zújar, José. (2000). Métodos para el cálculo de la erosión costera. Revisión, tendencias y propuesta. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*.
- Pilares, A., Gómez-Pujol, L., Álvarez-Ellacuría, A., Orfila, A., & Tintoré, J. (2015). Cambios en la línea de costa de una playa urbana mediterránea a largo plazo: Cala Millor (Mallorca), 1956-2012. *VIII Jornadas Geomorfología Litoral*, 217–220.
- Pirazzoli, P. A. (1996). Sea-level changes: the last 20 000 years. In *Sea-level changes: the last 20 000 years*. [https://doi.org/10.1016/s0016-6995\(97\)80182-9](https://doi.org/10.1016/s0016-6995(97)80182-9)
- Press, A. (2014). *Evolution of Corsican pocket beaches* Author (s): Balouin Yann , Bélon Remi , Anne Merour and Camille Riotte Source : *Journal of Coastal Research* , April 2014 , SPECIAL ISSUE NO . 70 . PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM 2014 (April 2014 . 2014(70), 96–101.
- Puertos del Estado. (2020). *Conjunto de datos SIMAR*. https://bancodatos.puertos.es/BD/informes/INT_8.pdf
- Roca, E., Gamboa, G., & Tàbara, J. D. (2008). Assessing the multidimensionality of coastal erosion risks: Public participation and multicriteria analysis in a Mediterranean coastal system. *Risk Analysis*, 28(2), 399–412. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01026.x>
- Romero, A. L., Antonio, J., & Quintana, J. (2011). *Autor / a*.
- Romine, B. M., & Fletcher, C. H. (2013). A Summary of Historical Shoreline Changes on Beaches of Kauai, Oahu, and Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*. <https://doi.org/10.2112/jcoastres-d-11-00202.1>
- Rosselló i Verger, V. (2005). Cala, una mesoforma litoral: concepte, models i aproximació morfomètrica. *Cuadernos de Geografía*, 77, 1–17.
- Strahler, A. N. : (1975). *Physical Geography*. Nueva York, John Wiley & Sons. Traducción castellana (1979): *Geografía física*. Barcelona, Omega.
- Thierler, E. R., Himmelstoss, E. ., Zichichi, J. ., & Ergul, A. (2009). DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278*.

United States Environmental Protection Agency. (2020). *LEARN: Beach Basics*.
<https://www.epa.gov/beaches>

Van Rijn, L. C. (2011). Coastal erosion and control. *Ocean and Coastal Management*, 54(12), 867–887. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2011.05.004>

Wright, L. D., & Short, A. D. (1984). Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. *Marine Geology*. [https://doi.org/10.1016/0025-3227\(84\)90008-2](https://doi.org/10.1016/0025-3227(84)90008-2)

RECURSOS ELECTRÒNICS

Visor IDEIB: <https://www.caib.es/sites/sitibsa/ca/ideib-81258/>

Puertos del Estado, Oceanografía: Predicción de oleaje, nivel del mar ; Boyas y mareógrafos.
<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>