



Escola de Camins

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria de Camins, Canals i Ports
UPC BARCELONATECH

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

Treball realitzat per:

Xavier Leal i Mas

Dirigit per:

Vicente Gracia Garcia i Agustín Sanchez-Arcilla

Màster en:

Enginyeria de Camins, Canals i Ports

Barcelona, 16 de Juny del 2017

Departament d'Enginyeria Civil i Ambiental

TREBALL FINAL DE MÀSTER

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

Autor: Xavier Leal i Mas

Tutors/es: Vicente Gracia Garcia i Agustín Sánchez-Arcilla Conejo

RESUM

Les platges encaixades solen presentar comportaments de basculació o rotació en episodis de tempesta. En aquesta tesina s'analitzen diferents alternatives de gestió de la Platja de Lloret de Mar que tenen com a principal objectiu establir-la envers aquest fenomen. Llavors, la problemàtica queda resolta si la platja té en tot moment un ample mínim que li permeti protegir el seu extradós de l'efecte de l'onatge i acollir la demanda turística estival. Aquestes són les dues funcions principals de la platja urbana de Lloret, nucli turístic de referència de la Costa Brava.

L'objectiu d'aquest estudi és analitzar les diferents alternatives en termes econòmics i d'emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH). Llavors, es pretén afegir el concepte d'empremta de Carboni a la presa de decisions d'un projecte de construcció d'obra marítima, deixant enrere la visió clàssica que contemplava generalment aspectes econòmics, d'impacte social i paisatgístic.

Abans d'entrar en el càlcul de l'empremta de Carboni de les alternatives, s'analitza el fenomen de la basculació des de dos fronts diferents. D'una banda es vol identificar a les sèries d'onatge quins són els temporals que han causat basculació per extreure'n possibles patrons. D'altra banda, s'estudia l'evolució dels últims anys de la línia de costa en planta mitjançant un exercici de digitalització d'aquesta línia a partir d'ortofotos i imatges aèries.

Tenint una visió general de la problemàtica, es calcula mitjançant el software TCQ l'empremta de Carboni de les vuit alternatives des que es produeixen els materials fins a la seva posada en obra. Són fora de l'abast d'aquest estudi les emissions derivades del procés de demolició i reciclatge del material de les estructures.

Els resultats confirmen l'evidència que les obres més cares en termes monetaris també ho són en emissions de diòxid de Carboni. D'altra banda, s'observa un clar *trade-off* entre l'estabilització de la línia de costa i el seu impacte sobre la configuració actual de la platja. Llavors, aquelles alternatives que resolen el problema de la basculació en la seva totalitat no serien acceptades socialment a causa dels canvis en la morfologia actual que introdueixen.

L'alternativa escollida es fonamenta en la gestió que s'està duent a terme actualment a la Platja de Lloret i no contempla la construcció de cap tipus d'estructura, simplement una redistribució del propi sediment de la platja quan els amplex d'algun tram d'aquesta siguin inferiors a un mínim per a que pugui desenvolupar les seves dues funcions principals.

Paraules clau: Empremta de Carboni, platja encaixada, basculació, morfodinàmica, construcció marítima, gestió ambiental, TCQ

Environmental management of embayed beaches. The Case of Lloret de Mar

Author: Xavier Leal i Mas

Tutors: Vicente Gracia Garcia i Agustín Sánchez-Arcilla Conejo

ABSTRACT

It is observed and documented that embayed beaches tend to rotate in front of the impact of a storm. In this thesis, several management alternatives that aim to stabilize the shoreline against this phenomenon are analyzed for the embayed beach of Lloret de Mar. Therefore, the problem is solved when the beach width is enough to ensure both protection and recreational functions. Whereas the first is related to its capability of safeguard the hinterland, the second one is referred to the space needed to host the tourism demand. Being one of the most touristic spots of La Costa Brava, these are the two main functions of the Lloret de Mar beach.

The main goal of this research is to analyze several alternatives from an economical point of view and in terms of the emission of greenhouse gases (GHG). Hence, it is intended to incorporate the concept of Carbon footprint into the decision-making process of a maritime construction project. This leads to a new way of determining the optimum alternative that differs from the classical decision-making that takes into account just the economic point of view and the social and landscape impacts.

Before computing the Carbon footprint of the alternatives, the rotation phenomenon is carefully studied from two points of view. On one hand, the storms that produces rotation are identified in the wave data series to extract possible patterns. On the other hand, a study of the shoreline evolution in plant view based in aerial images is undertaken.

Having a general overview of the problem, the footprint of each alternative is computed through TCQ software taking into account the emissions derived from the extraction of the materials until their placement in the different structures. Emissions emanated from demolition and recycling processes are out of scope.

The results confirm the evidence that those alternatives more expensive in economical units also emit more GHG. Moreover, it is observed a trade-off between the stabilization of the shoreline and its impact on the initial configuration of the beach in plant view. In other words, those alternatives that solve totally the rotation problem would not be socially accepted due to the changes caused in the actual beach configuration.

The alternative chosen is based on the actual management of the Lloret de Mar beach and do not contemplate the construction of any physical structure but a redistribution of the existing sediment when any beach profile has a width lower than a minimum value. This value is determined in order to ensure the fulfillment of both protection and recreational function.

Key words: Carbon Footprint, embayed beach, morphodynamics, maritime construction, environmental management, TCQ

Índex

1. INTRODUCCIÓ.....	13
1.1 Motivació.....	13
1.2 Objectius.....	13
1.3 Estructura del document.....	14
2. ESTAT DE L'ART.....	15
2.1 La platja encaixada.....	15
2.2 Dinàmica de platges encaixades: la basculació.....	17
2.2.1 Definició.....	17
2.2.2 Causes.....	18
2.2.3 Caracterització de la basculació.....	19
2.2.4 Efectes de la basculació.....	21
3. ZONA D'ESTUDI.....	25
3.1 Caracterització de la platja d'estudi.....	25
3.1.1 Situació.....	25
3.1.2 Descripció general.....	26
3.1.3 Hidrodinàmica.....	28
3.1.4 Dinàmica.....	29
4. METODOLOGIA.....	30
4.1 Dades de partida.....	30
4.1.1 Ortofotos i imatges aèries.....	30
4.1.2 Dades de Puertos del Estado.....	32
4.1.3 Temporals documentats per l'Ajuntament de Lloret.....	33
4.2 Anàlisi de les ortofotos.....	39
4.2.1 Tractament de les línies de costa.....	39
4.2.2 Resultats.....	40

4.3 Anàlisi de l'onatge	45
4.3.1 Identificació dels episodis de rotació	45
5. GESTIÓ DE LA PLATJA DE LLORET	51
5.1 Gestió actual	51
5.2 Gestió de la platja derivada de les actuacions proposades per Iberport	52
5.2.1 Alternativa 1: Seguiment de la platja i redistribució de sorres	52
5.2.2 Alternativa 2: Dic sud.....	53
5.2.3 Alternativa 3: Dic nord.....	54
5.2.4 Alternativa 4: Dic transversal central	54
5.2.5 Alternativa 5: Dos dics exempts	55
5.2.6 Alternativa 6: Dic sud amb exempt al nord	56
5.2.7 Alternativa 7: Dic exempt central.....	57
5.2.8 Alternativa 8: Dic exempt central i submergit sud	58
5.3 Discussió d'alternatives	58
6. ANÀLISI DE L'EMPREMTA DE CARBONI	60
6.1 L'empremta de Carboni	60
6.1.1 Descripció general i context històric	60
6.1.2 Marc normatiu.....	61
6.2 Quantificació de les emissions derivades de la gestió de la Platja de Lloret	62
6.2.1 Alternativa 1: Seguiment de la platja i redistribució de sorres	63
6.2.2 Alternativa 2: Dic sud.....	64
6.2.3 Alternativa 3: Dic nord.....	66
6.2.4 Alternativa 4: Dic transversal central	68
6.2.5 Alternativa 5: Dos dics exempts	69
6.2.6 Alternativa 6: Dic sud amb exempt al nord	71
6.2.7 Alternativa 7: Dic exempt central.....	73

6.2.8 Alternativa 8: Dic exempt central i submergit sud	74
6.3 Comparació d'alternatives i conclusions d'interès	76
7. DISCUSSIÓ DE RESULTATS	83
7.1 Anàlisi dels episodis de rotació.....	83
7.2 Anàlisi de les alternatives: emissions, cost i impacte paisatgístic/social	85
7.2.1 Alternativa 1: Seguiment de la platja i redistribució de sorres	85
7.2.2 Alternativa 2: Dic sud.....	86
7.2.3 Alternativa 3: Dic nord.....	86
7.2.4 Alternativa 4: Dic transversal Central	86
7.2.5 Alternativa 5: Dos dics exempts	86
7.2.6 Alternativa 6: Dic sud amb exempt al nord	87
7.2.7 Alternativa 7: Dic exempt central.....	87
7.2.8 Alternativa 8: Exempt central i submergit sud	87
7.3 Alternativa escollida i proposta d'execució pels casos del 2004 i 2014	88
8. CONCLUSIONS	94
9. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES	96

Índex de Figures

Figura 1. Exemple d'una platja encaixada, Lloret de Mar (ICGC)	15
Figura 2. Diferents zones d'una platja encaixada. De color vermell la zona no afectada per la difracció (zona I) i de color groc la zona II on la difracció és present (forma parabòlica). Ortofoto del 18.05.2015 (Google Earth).....	16
Figura 3. Paràmetres del model de la platja parabòlica (Thomas et al., 2016)	17
Figura 4. Efecte de la basculació a la Platja de Lloret (Jiménez et al., 2011).....	18
Figura 5. Taxes d'erosió/acreció dels diferents transsectes d'un estudi d'ortofotos (Thomas et al., 2016)	19
Figura 6. Evolució morfològica d'una platja encaixada mitjançant el model numèric Delft3D (Daly et al., 2011). Inclou canvis en batimetria, vectors velocitat i ombrejat que indica erosió/acumulació en metres	20
Figura 7. Esquema dels paràmetres de l'IBP per un ample òptim de 30 metres (Valdemoro, 2005)	21
Figura 8. Distribució estacional del contingut mig d'energia de l'onatge i del nombre de turistes no espanyols durant l'any 2001 a Catalunya (Valdemoro, 2005).....	22
Figura 9. Estat del passeig el 10.11.2001 (Departament de Medi Ambient de l'Ajuntament Lloret de Mar)	23
Figura 10. Efectes sobre les rampes d'accés durant el temporal d'octubre del 2003 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	24
Figura 11. Situació de la Platja de Lloret dins el tram 16 marcat en groc	25
Figura 12. Ortofoto de la Platja de Lloret (ICGC)	26
Figura 13. Perfil de la zona central de la Platja de Lloret corresponent al 2008 (Llibre Verd de la costa catalana, 2009).....	27
Figura 14. Sediment de la Platja de Lloret (Llibre Verd de la costa catalana, 2009)	27
Figura 15. Batimetria de la Platja de Lloret (Iberport, 2008).....	27
Figura 16. Roses d'onatge corresponents al clima mitjà d'onatge segons les dades de la boia de Tordera (Llibre Verd de la costa catalana, 2009)	28
Figura 17. Contingut energètic parametritzat com altura d'ona al quadrat entre 1996 i 2005 a partir del punt WANA 2070053 (LIM, 2005)	29
Figura 18. Ortofotos (marcades amb asterisc) i imatges aèries usades per digitalitzar la línia de costa de la Platja de Lloret. De les ortofotos no se sap exactament el mes ni el dia en que es van capturar ja que solen estar creades a partir de diferents fotogrames de dies o fins i tot mesos diferents.....	31

Figura 19. Situació dels punts SIMAR usats a l'estudi	32
Figura 20. Localització de la boia de Palamós	33
Figura 21. Efectes del temporal de llevant de novembre del 2001 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	34
Figura 22. Efectes sobre les torres de socorrisme del temporal d'octubre del 2003 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	34
Figura 23. Efectes del temporal d'octubre del 2005 sobre la zona de desembocadura de la riera de Lloret (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	35
Figura 24. Exposició de la zona nord i acumulació de sediment a la zona sud a causa del temporal d'abril del 2007 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	35
Figura 25. Basculació produïda pel temporal de desembre del 2007 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	35
Figura 26. Acumulació de sorra a la zona del passeig a causa del temporal de San Esteve del 2008 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	36
Figura 27. Efectes del temporal d'abril del 2011 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	37
Figura 28. Deposició d'arena a la zona sud del passeig a causa del temporal de març del 2013 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	37
Figura 29. Efecte d'una basculació cap al nord provocada per un temporal de garbí com el de gener del 2004 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)	37
Figura 30. Inputs del software DSAS. En la imatge superior (a) apareixen els transectes en color lila i la línia base de color blau clar. En l'inferior (b) s'il·lustren les diferents línies de costa digitalitzades a partir de les ortofotos i imatges aèries	39
Figura 31. Evolució de la línia de costa respecte l'any 1945 pel tram sud (a), centre (b) i nord (c)	42
Figura 32. Relacions entre zones de la platja dos a dos. Les figures a1 i a2 relacionen nord i sud. Les b1 i b2 comparen les zones nord i centre i les c1 i c2 centre amb nord	43
Figura 33. En negre es mostren les dues envoltants de les línies de costa corresponents al període entre 1986 i 2015. De color blau clar es dibuixa la línia base d'on surten els transectes (representats en color lila) i la distància compresa entre les dues envoltants es representa mitjançant un escalat de colors de verd a vermell segons aquesta creix	44
Figura 34. Ràtios en m/any d'avanç o retrocés de cada transecte	45
Figura 35. Resultats dels diferents punts SIMAR i la boia de Palamós. Hm0 correspon a l'altura significant espectral	46

Figura 36. Anàlisi de la sèrie d'onatge del punt SIMAR 2118140. De dalt a baix: resultats comparant altura d'ona espectral, altura d'ona espectral al quadrat i finalment producte d'altura d'ona espectral al quadrat pel període pic.....	47
Figura 37. Vector progressiu pel punt SIMAR 2118140 i els tres criteris de mòdul comentats. De color vermell els temporals documentats per l'ajuntament que han provocat basculació	48
Figura 38. De vermell els temporals que han produït basculació i han sigut documentats per l'ajuntament i de color verd els possibles episodis de basculació detectats per ortofotos i semblança d'aportació energètica de l'onatge. Procedències del primer i segon sector comprenent els rangs entre 70º i 140º, 140º i 240º respectivament.....	50
Figura 39. De vermell els temporals que han produït basculació i han sigut documentats per l'ajuntament i de color verd els possibles episodis de basculació detectats per ortofotos i semblança d'aportació energètica de l'onatge. Procedències del primer i segon sector comprenent els rangs entre 70º i 140º, 140º i 240º respectivament.....	50
Figura 40. Operacions de redistribució de sorra a la platja de Lloret (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar).....	51
Figura 41. Croquis d'emplaçament de l'espigó a la zona sud (alternativa 2)	53
Figura 42. Croquis d'emplaçament de l'espigó a la zona nord (alternativa 3)	54
Figura 43. Configuració en planta de l'alternativa 4. En vermell s'observa la planta d'equilibri (Iberport Consulting, 2008).....	54
Figura 44. Configuració en planta dels dos dics exempts. En vermell la configuració d'equilibri. (Iberport Consulting, 2008).....	55
Figura 45. Vista en planta del dic exempt de l'alternativa 6 (Iberport Consulting, 2008)	56
Figura 46. Esquema en planta del dic exempt de l'alternativa 7. De color vermell la forma en planta d'equilibri resultat de l'ajust de dues paràboles de Hsu & Evans. (Iberport Consulting, 2008)	57
Figura 47. Planta en equilibri de la platja resultant de l'alternativa 8 (Iberport Consulting, 2008)	58
Figura 48. Esquema del càlcul de les emissions segons TCQ.....	62
Figura 49. Emissió de CO ₂ en tones corresponent a l'alternativa 1	64
Figura 50. Emissió de CO ₂ en tones corresponent a l'alternativa 2	66
Figura 51. Emissió de CO ₂ en tones corresponent a l'alternativa 3	67
Figura 52. Emissió de CO ₂ en tones corresponent a l'alternativa 4	69
Figura 53. Emissió de CO ₂ en tones corresponent a l'alternativa 5	71
Figura 54. Emissió de CO ₂ en tones corresponent a l'alternativa 6	72

Figura 55. Emissió de CO ₂ en tones corresponent a l'alternativa 7	74
Figura 56. Emissió de CO ₂ en tones corresponent a l'alternativa 8	76
Figura 57. Comparativa d'alternatives. A l'eix vertical principal hi ha l'escala d'emissions en tones de CO ₂ i al secundari (a la dreta) es mostra l'escala monetària en euros. Les barres representen les emissions totals, en blau clar els resultats dragant el material d'aportació i en blau marí sense fer-ho. Les ratlles horitzontals grogues i vermelles representen el cost monetari dragant i sense dragar respectivament	77
Figura 58. Relació entre costos monetaris i emissions de les 8 alternatives.....	78
Figura 59. Aportació de cada grup d'emissors al resultat total. Resultats en tant per u. A la part superior els resultats sense dragar el material d'aportació i a baix dragant-lo.....	78
Figura 60. "Isoemissores" del transport terrestre de material d'aportació fins a l'obra	80
Figura 61. Gràfic de comparació entre les emissions del dragatge i el transport des de pedrera	80
Figura 62. Probabilitat de tenir un cert ample de platja per tres transectes diferents T2, T11 i T19 de les zones sud, centre i nord respectivament	84
Figura 63. En abscesses es representa l'ample de platja en metres i en ordenades la probabilitat de tenir ample de platja per cada un dels transectes	84
Figura 64. Perfil de càlcul per a les redistribucions de sorra de la Platja de Lloret. Les àrees rosa (A1) i vermella (A2) serien les que farien falta per augmentar el perfil un ample "a".	90
Figura 65. Configuració en planta de la platja pel juny del 2004. A l'esquerra (a) es representa l'àrea de sorra de color blau clar i de color marró la línia de costa de 40 metres d'amplada constant. A la dreta (b) es té en vermell l'àrea sobrant entre la línia de costa real i la d'amplada 40 m i en groc l'àrea deficitària que haurem d'omplir.....	90
Figura 66. Replanteig de la línia de costa pel cas de juny del 2004.....	91
Figura 67. Estat de la platja al març del 2014. A l'esquerra (a) es representa de color marró la línia de costa de 40 metres d'amplada constant. A la dreta (b) es té en vermell l'àrea sobrant entre la línia de costa real i la d'amplada 40 m i en groc l'àrea deficitària que haurem d'omplir	92
Figura 68. Replanteig de la línia de costa pel cas de març del 2014. De color llima l'àrea final i de vermell la que sobra després d'aconseguir que tota la platja tingui com a mínim 40 metres d'amplada	93

Índex de Taules

Taula 1. Error RMS de les imatges aèries projectades	32
Taula 2. Inversió a la Platja de Lloret (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar, MMA)	38
Taula 3. Desplaçament relatiu de la línia de costa respecte l'any 1946. Les distàncies estan en metres i els valors negatius indiquen retrocés de la línia de costa. Els colors vermells indiquen retrocés o pèrdua d'ample i els color verds avanç.....	41
Taula 4. Distància entre envolupants. En vermell els transsectes amb més variació i en verd amb menys	44
Taula 5. Comparativa d'alternatives.....	59
Taula 6. Justificació de partides de l'alternativa 1.....	64
Taula 7. Justificació de partides de l'alternativa 2.....	65
Taula 8. Justificació de partides de l'alternativa 3.....	67
Taula 9. Justificació de partides de l'alternativa 4.....	68
Taula 10. Justificació de partides de l'alternativa 5.....	70
Taula 11. Justificació de partides de l'alternativa 6.....	72
Taula 12. Justificació de partides de l'alternativa 7.....	74
Taula 13. Justificació de partides de l'alternativa 8.....	75
Taula 14. Recull de les dades d'emissió unitàries de les diferents alternatives	82
Taula 15. Resum dels resultats obtinguts per les diferents alternatives. Les quatre files representen els 4 objectius bàsics a assolir per una correcta gestió de la platja de Lloret. Els marcadors de colors de les dues primeres files segueixen el següent criteri: verd quan el valor no representa més del 25% del rang total, entenent com a rang total a aquell delimitat pels valors més alt i més baix de la sèrie. El groc, verd i negre pels valors que representen entre un 25% i 50%, entre un 50% i 75% i més d'un 75% respectivament... 88	
Taula 16. Estudi de l'evolució de l'àrea de la Platja de Lloret en planta. Dades extretes a partir del software ArcMap amb les línies de costa digitalitzades per la consecució dels apartats anteriors	89
Taula 17. Volums a redistribuir pel cas de juny de 2004. Valors positius indiquen excés i negatius dèficits de sediment. De color vermell s'han marcat els transsectes amb amplada inferior a 40 metres. Es denomina com a paràmetre "a" a la diferència entre l'ample real i el de 40 metres. A1 i A2 són l'àrea rosa i vermella del perfil de càlcul respectivament.....	91
Taula 18. Volums a redistribuir pel cas de març del 2014. Valors positius indiquen excés i negatius dèficits de sediment. De color vermell s'han marcat els transsectes amb amplada inferior a 40 metres	93

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Motivació

El desenvolupament sostenible passa per reduir les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) provinents de l'acció humana. La creixent preocupació per controlar aquestes emissions s'ha vist reflectida en la creació de comissions mundials contra el canvi climàtic i l'adopció de diferents protocols amb objectius fixes.

L'empremta de Carboni és el paràmetre que quantifica les emissions de gasos d'efecte hivernacle associats a una empresa, esdeveniment, activitat o cicle de vida d'un producte o servei. A l'actualitat s'estudia l'emissió de GEH d'una infinitat d'activitats econòmiques (indústria, productes específics, organitzacions), però en el camp de la construcció d'obra marítima és encara un concepte poc madur amb molt potencial de desenvolupament.

En aquesta tesina s'abordarà la quantificació d'emissions de GEH generades per 8 alternatives proposades per l'empresa Iberport Consulting l'any 2008 que tenen per objectiu establir la Platja Gran de Lloret enfront d'episodis de basculació oferint per aquesta una gestió integrada i eficient. Es pretén incorporar el càlcul d'emissions a la presa de decisions de l'alternativa òptima. Per tant, es vol anar més enllà de l'enfocament clàssic que té en compte solament criteris monetaris i d'impacte social i paisatgístic.

De totes maneres, abans de quantificar i analitzar l'empremta de Carboni de cada una de les vuit alternatives, s'estudiarà la problemàtica que motiva la confecció d'un pla de gestió per la platja de Lloret que és la basculació o rotació. Aquest fenomen que té lloc en platges encaixades com la de Lloret, provoca acumulació o dèficit de sediment en un extrem o l'altre de la platja depenent de la direcció del temporal incident.

Per tenir una visió general de la rotació a la Platja de Lloret, s'estudiaran d'una banda les series d'estat de mar provinents de diferents punts SIMAR i de la boia de Palamós per conèixer les causes i d'altra banda, es digitalitzarà la línia de costa per poder-ne veure les conseqüències i afectacions al llarg dels anys.

Llavors, una correcta gestió de la platja de Lloret passa per establir-la enfront de la basculació evitant aquelles situacions en que l'ample no és suficient per esmorteir l'efecte dels temporals (funció de protecció) i albergar la demanda turística estival (funció recreativa).

1.2 Objectius

L'objectiu principal és avaluar els costos econòmics i ambientals d'una sèrie d'alternatives per la gestió urbana de la Platja de Lloret. Entenent com a cost ambiental aquelles emissions de CO₂ despreses durant el procés d'obtenció i posterior col·locació en obra dels materials.

D'altra banda, es pretén que els resultats obtinguts de l'anàlisi ambiental formin part del procés de selecció de l'alternativa òptima.

1.3 Estructura del document

El present document s'estructura en tres parts ben diferenciades. Una primera que comprèn els tres primers capítols on es contextualitza l'estudi oferint una breu introducció, l'estat de l'art i informació sobre la dinàmica de les platges encaixades i la basculació.

Una segona que contempla la metodologia seguida tal com la presentació de les fonts de dades emprades i els resultats de les dues anàlisis sobre el procés de basculació de la platja de Lloret: el de digitalització de la línia de costa i el de tractament de les corbes d'estat de mar. També considerem dins d'aquest segon apartat el capítol cinquè on es plantegen les diferents alternatives de gestió de la platja amb els seus procediments constructius.

Finalment formen part de la tercera part els tres últims capítols 6, 7, 8 que aporten un anàlisi dels resultats obtinguts, la seva discussió des d'una òptica general i les conclusions on s'escull l'alternativa considerada com a òptima.

2. ESTAT DE L'ART

En aquest apartat s'exposen conceptes fonamentals pel transcurs de la tesina. En especial s'explica la basculació que pateixen les platges encaixades, quines són les seves causes i quins efectes té sobre les seves funcions principals.

2.1 La platja encaixada

Una platja encaixada és aquella que no perd sediment pels seus extrems a causa de barreres naturals o artificials que dificulten o limiten significativament el transport longitudinal. Un clar exemple n'és la Platja de Lloret, on aquests obstacles són sortints de roca naturals i les pèrdues netes de sediment són negligibles (Gracia et al., 2008) (Figura 1). Es comú tractar aquest tipus de platges com cel·les tancades on canvis en la línia de costa no impliquen una variació del volum total de sediment, tot i que sí que es pot donar variació local depenent del tram que s'estudiï.



Figura 1. Exemple d'una platja encaixada, Lloret de Mar (ICGC)

Gràcies a que no hi ha una pèrdua de sediment significativa, aquestes platges es solen considerar com ambients costaners sense gran problemàtica d'estabilitat des del punt de vista de la dinàmica litoral. Tot i aquesta aparent estabilitat a llarg termini, aquestes platges experimenten importants variacions en la configuració de la línia de costa com a resposta als diferents onatges incidents d'un any climàtic. Aquest fenomen de variació de la línia de costa en platges encaixades s'anomena basculació i està altament influenciat per les condicions de l'onatge incident, en especial la direcció (Daly et al., 2011).

La forma en planta d'aquestes platges és típicament corba i se'n distingeixen dues parts ben diferenciades (veure Figura 2): una que anomenarem exposada, situada a la zona on l'onatge incident no es veu afectat per la difracció (zona I) i una altra abrigada on els elements que delimiten la platja difracten l'onatge dotant-la d'una forma parabòlica (zona II). A la zona exposada, la línia de costa adopta una direcció paral·lela a la dels fronts d'ona incidents i a llarg termini, tindrà una direcció paral·lela a la de l'onatge mig de la zona. De totes maneres, durant temporals de direcció diferent a l'habitual la línia de costa és situarà de forma paral·lela al front d'ona de l'episodi. A la zona I el transport longitudinal és causat principalment per la incidència obliqua de l'onatge. D'altra banda, el que produeix transport a la zona II és una combinació de corrents longitudinals (incidència obliqua) i corrents de gradient d'altura d'ona provocats per la difracció.



Figura 2. Diferents zones d'una platja encaixada. De color vermell la zona no afectada per la difracció (zona I) i de color groc la zona II on la difracció és present (forma parabòlica). Ortofoto del 18.05.2015 (Google Earth)

Si una platja encaixada presenta zona parabòlica només a un dels seus extrems voldrà dir que els onatges que ha rebut provenien de la mateixa direcció, mentre que si presenta forma corba als seus dos extrems implicarà que l'onatge incident no era unidireccional.

Per definir la zona corba d'una platja encaixada, molts investigadors han seguit la formulació de la platja parabòlica proposada per Hsu i Evans (1989). En aquest estudi, la configuració de la platja es calcula a partir d'un polinomi de segon grau en funció de l'angle d'incidència de l'onatge sobre la platja i de l'anomenada línia de control que uneix el pol de difracció amb el punt a partir del qual aquest fenomen no té efecte. Segueix la següent expressió:

$$\frac{R_0}{R_n} = C_0 + C_1 \left(\frac{\beta}{\theta}\right) + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta}\right)^2 \quad (1)$$

On:

R_0 és la distància del pol de difracció al punt a partir del qual la difracció no té efecte (Figura 3). Aquest punt s'anomena de control i està situat aigües avall del patró de transport que marca l'onatge d'estudi.

β és l'angle entre els fronts d'ona i la línia de control.

R_n defineix la distància des del pol de difracció a un punt de la platja parabòlica quan variem l'angle θ .

C_0 , C_1 , i C_2 són constants en funció de l'angle d'incidència de l'onatge.

Una de les principals fonts d'incertesa del model és l'elecció del punt de control aigües avall fins on s'estendrà la forma parabòlica de la línia de costa. La seva elecció fa variar R_0 i l'angle β , ja que l'angle de l'onatge és manté constant. Altres aspectes que el mètode no contempla són que si estem tractant amb un sortint natural, aquest pot tenir múltiples pols de difracció o que la batimetria pot ser irregular dins de la badia.

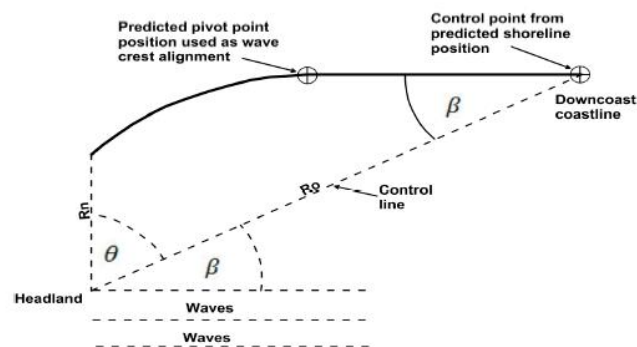


Figura 3. Paràmetres del model de la platja parabòlica (Thomas et al., 2016)

2.2 Dinàmica de platges encaixades: la basculació

2.2.1 Definició

S'entén com basculació a l'efecte d'un moviment d'oscil·lació, de canvi d'inclinació. En termes d'enginyeria marítima, la basculació és el moviment longitudinal de sediment seguint la direcció de transport que provoca acreció a la zona d'aigües avall i erosió en l'oposada. Segons Thomas et al. (2016), la basculació està influenciada per un grapat de paràmetres on s'inclouen la geologia de la zona, el volum de sediment present a la platja i les condicions ambientals externes com les propietats de l'onatge incident: altura, període i sobretot direcció. A la Figura 1 podem veure l'estat de la platja de Lloret en planta el 3 de març del 2014. Observem com els temporals de component sud van fer bascular la sorra cap a la zona nord, deixant la zona meridional gairebé sense ample.

El fenomen de rotació o basculació d'una platja produït per l'acció de l'onatge ha estat reportat per diferents autors (Masselink i Pattiaratchi, 2009; Klein et al., 2010). Els patrons de basculació poden ser estacionals o de llarg termini depenent de les variacions climàtiques que provoquen onatges de característiques diferents (Harley et al., 2011). De fet, el fenomen ha estat estudiat atenent a diferents escales temporals i tipologia de platges.

Dolphin et al. (2011) exposa que el fenomen de la basculació sol venir acompanyat d'un clima d'onatge bidireccional compost per dues direccions principals que s'alternen provocant patrons de transport longitudinal de sentit oposat. Llavors, depenent de la direcció del temporal tindrem erosió/acreció a un extrem o l'altre de la platja. Vegem a la Figura 4 l'aspecte de la línia de costa de la platja de Lloret corresponent a tres anys diferents. Mentre que pel maig de 2001 la platja estava basculada cap al nord havent patit temporals provinents de sud, pel maig de 2004 la situació és justament l'oposada.



Figura 4. Efecte de la basculació a la Platja de Lloret (Jiménez et al., 2011)

2.2.2 Causes

La causa principal de la basculació a les platges encaixades és el flux d'energia associat a l'onatge incident que provoca transport longitudinal del sediment. Tal i com s'ha comentat a l'apartat 2.1, la platja encaixada té una zona abrigada i una altra exposada. Dins la zona exposada, el transport longitudinal es genera per incidència obliqua de l'onatge. D'altra banda, a la zona abrigada la difracció genera un gradient d'altura d'ona que combinat amb la incidència obliqua propicien el transport longitudinal.

Per tant, el transport de sediment al llarg de la platja es pot considerar com una suma de dues components, una provinent de la incidència obliqua i l'altra del gradient d'altura d'ona (Osaza i Brampton, 1980). A la primera component l'anomenarem corrent longitudinal i a la segona corrent de gradient. Aquestes dues components es poden apreciar a la següent expressió, on el primer terme correspon a la corrent longitudinal i el segon a la de gradient:

$$S_l = H_b^2 C_{gb} \left(\varepsilon_1 \sin(2\alpha_{bs}) - \varepsilon_2 \cos(\alpha_{bs}) \frac{\partial H_b}{\partial y} \right) \quad (2)$$

On:

H_b és l'altura d'ona significant en trencament

C_{gb} és la velocitat de grup en trencament

ε_1 i ε_2 són paràmetres que depenen de les constants de transport i del pendent de la platja

α_{bs} angle de l'onatge en trencament, entre la platja i el front d'ones

Si analitzem la condició d'equilibri, és a dir que el transport longitudinal sigui nul ($S_l = 0$), obtenim per la zona exposada on només actua la primera component del transport, que l'angle entre el front d'ona en trencament i la costa ha de ser nul. En altres paraules, el front d'ona ha de ser paral·lel a la costa. D'altra banda, si apliquem la mateixa condició a la zona abrigada arribem a una expressió on l'angle que formen

el front d'ones en trencament amb la platja va canviant amb la variació d'altura d'ona. És en aquesta zona on Hsu i Evans (1989) proposen el model de la platja parabòlica amb la intenció de capturar el fenomen de la difracció mitjançant una expressió de línia de costa definida per un polinomi de segon ordre (veure apartat 2.1).

2.2.3 Caracterització de la basculació

La variació morfològica d'una platja encaixada té lloc a escales temporals que oscil·len des de segons fins a varis anys (Thomas, 2016). Existeixen diferents mètodes per caracteritzar l'evolució de la línia de costa, alguns són empírics i d'altres estan basats en models numèrics.

L'expressió de la badia parabòlica explicada als apartats anteriors ofereix una aproximació de la línia de costa en equilibri. És purament empírica i no explica com afecten factors importants com les propietats de l'onatge, els processos propers a la costa o la influència de la geometria de la badia en la resposta de tota ella. De totes maneres, aquesta tècnica és una de les més utilitzades en l'actualitat (Gonzalez i Medina, 2001).

També són comuns els estudis basats en ortofotos i imatges aèries (Thomas et al., 2016; Dolphin et al., 2011). Aquests estudien l'evolució de la línia de costa mitjançant imatges georreferenciades on s'aprecia l'evolució de l'ample emergit de la platja. La totalitat de la platja es divideix en una sèrie de transectes que indiquen quins sectors de la platja han tingut avanç i quins retrocés, així com s'extreuen taxes d'erosió/acreció per cada part de la platja (Figura 5). Tota aquesta informació es contrasta amb les dades d'onatge incident on prèviament s'han identificat els temporals. Finalment, es poden definir quins temporals han provocat basculació i sovint s'aporta una prognosi pel futur.

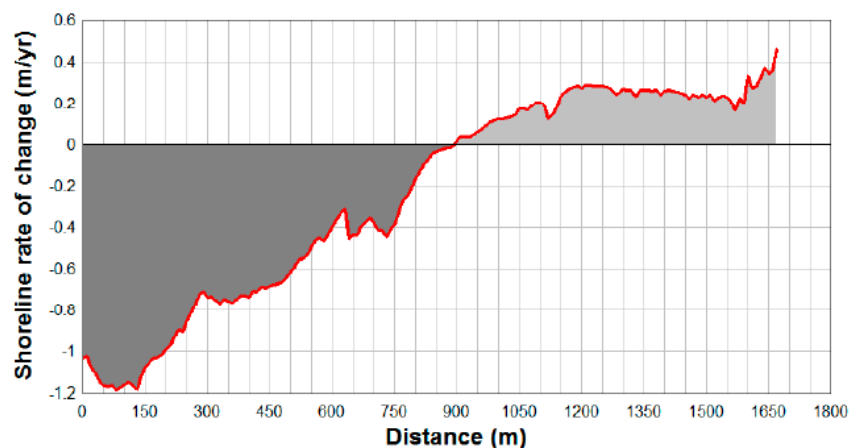


Figura 5. Taxes d'erosió/acreció dels diferents transectes d'un estudi d'ortofotos (Thomas et al., 2016)

Si no es disposa de fotos aèries, també s'han realitzat estudis semblants a partir d'aixecaments periòdics de la zona emergida de la platja (Gracia et al., 2008).

Altres autors han abordat l'estudi de la basculació mitjançant models numèrics que intenten explicar els efectes de l'onatge incident sobre la morfodinàmica de la platja. Daly et al., (2011) usen un model dependent del temps compost per dos mòduls: un d'onatge i un altre de flux. El primer s'encarrega de la propagació i dissipació del tren d'ones i el segon resol les equacions de Navier-Stokes per a un fluid

incompressible (Figura 6). Ambdós estan acoblats per poder tenir en compte la interacció corrents-onatge.

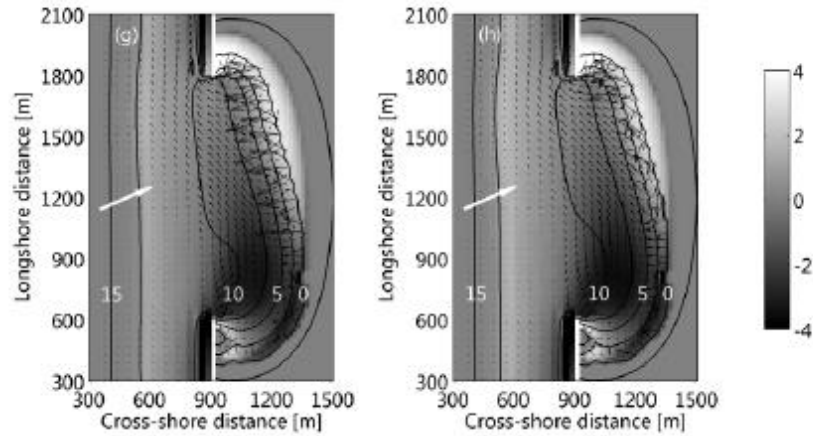


Figura 6. Evolució morfològica d'una platja encaixada mitjançant el model numèric Delft3D (Daly et al., 2011). Inclou canvis en batimetria, vectors velocitat i ombrejat que indica erosió/acumulació en metres

També existeixen estudis a llarg termini (de l'ordre d'anys) que es centren en l'anàlisi d'imatges per tal d'explicar propietats que afecten a la morfodinàmica a petita escala, com per exemple els que analitzen quin paper juguen les barres i els corrents de retorn (Almar et al., 2008, Gallop et al., 2010).

Valdemoro (2005) usa l'anomenat indicador de basculació de la platja (IBP) per quantificar la importància del procés de rotació. Per aconseguir-ho es basa en el concepte d'ample de platja òptim des del punt de vista de la explotació turística. Els amplex de platja amb valor inferior a l'òptim faran de créixer aquest índex. L'expressió d'aquest índex és la següent:

$$IBP = \frac{L(W \geq W_{opt})}{L_{total}} \quad (3)$$

Si per exemple prenem un ample òptim de 30 metres, els paràmetres necessaris pel càlcul de l'IBP es mostren a la Figura 7.

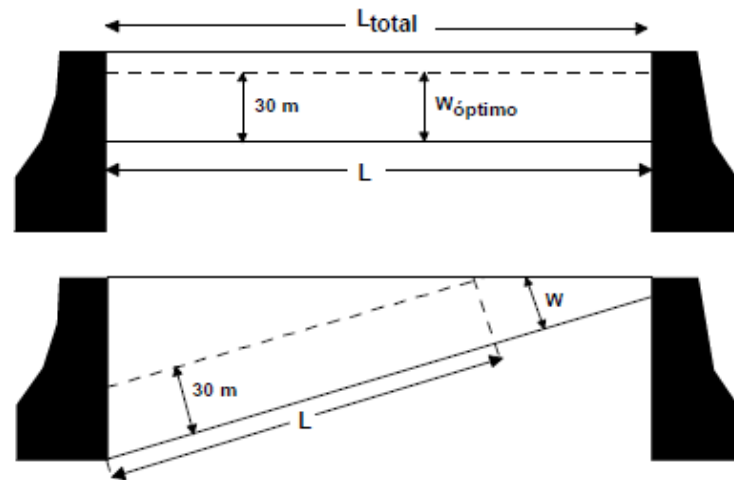


Figura 7. Esquema dels paràmetres de l'IBP per un ample òptim de 30 metres (Valdemoro, 2005)

La platja estarà afectada per una basculació major a mesura que el valor de l'índex s'allunyi de la unitat.

2.2.4 Efectes de la basculació

Un problema costaner es defineix com aquella situació on un procés costaner (o un conjunt d'ells) afecten negativament els recursos existents o una de les seves funcions d'interès: protecció, transport, navegació, recreativa o natural (Jiménez et al. 2011).

Per analitzar en detall els problemes costaners, es defineix la vulnerabilitat com aquell comportament costaner integrat que considera tant les seves respostes negatives com les positives (Valdemoro, 2005). Dins de les respostes negatives trobem la susceptibilitat que implica una degradació del sistema. D'altra banda, la resiliència costanera està definida com l'habilitat inherent que una zona costanera presenta a l'hora d'encaixar canvis produïts per un augment del nivell del mar, episodis extrems o impactes humans sense perdre les seves funcions (Comissió Europea, 2004). Aquesta habilitat inherent es pot entendre com a la capacitat que té la platja per recuperar-se després d'un episodi erosiu o mesurant l'habilitat resistent que presenta front els canvis causats per les tempestes. El principal factor que intervé en la recuperació de la platja depèn de la taxa de transport de sediment *onshore*, controlada pel clima d'onatge i les característiques de la platja. Pel que fa a la seva habilitat resistent, depèn directament de l'ample i el volum de sediment que té la platja. Per tant, aquesta serà més resilient com més ample inicial tingui.

Els efectes de la basculació juguen un paper important en els dues funcions principals de les platges encaixades de la Costa Brava. Per una banda, la reducció d'ample efectiu limita la funció de protecció del hinterland en època de tempestes i d'altra banda, aquesta disminució d'amplada pot provocar una pèrdua de la seva capacitat recreativa durant l'estiu. A la Figura 8 es pot veure com és important mantenir durant tot l'any un ample adequat de platja a causa de que hi ha un decalatge entre les èpoques de major ús de la platja i les de major intensitat d'onatge.

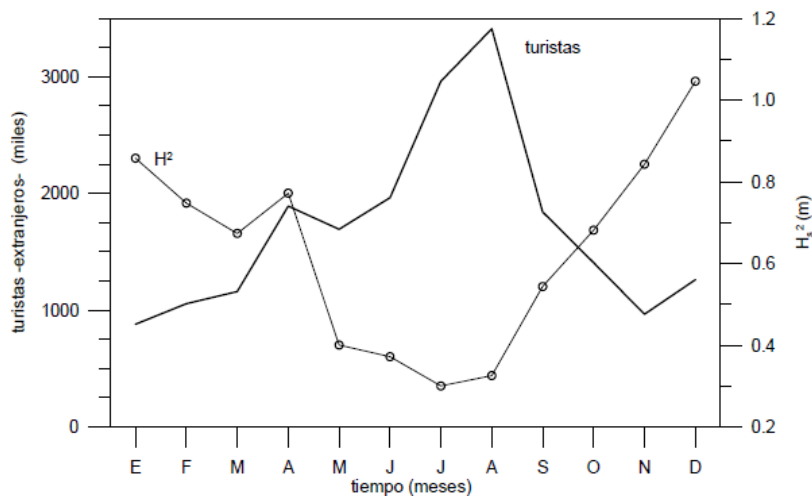


Figura 8. Distribució estacional del contingut mig d'energia de l'onatge i del nombre de turistes no espanyols durant l'any 2001 a Catalunya (Valdemoro, 2005)

A continuació s'explicarà com la basculació pot afectar a les funcions de protecció, recreativa i natural d'una platja. S'han particularitzat els conceptes per la Platja Gran de Lloret de Mar ja que és l'objecte de la tesina.

i) Efectes sobre la funció de protecció

Es pot dir que la platja perd la seva funció de protecció quan el nivell total d'aigua durant l'episodi de tempesta (marea meteorològica i *run-up*) excedeix la cresta de la platja produint inundacions i mobilització de sediment a la seva zona adjacent.

Aquestes zones solen estar constituïdes per passeigs que es poden veure inundats, contaminats de sediment i fins i tot arribar al col·lapse (Figura 9).

El Ministerio de Medio Ambiente exposa en les seves directrius sobre platges que aquestes han de posseir una amplada o franja seca suficient per a que en qualsevol moment de la seva evolució natural tingui una amplada suficient per resguardar els béns o valors ambientals a defensar al seu extradós. Per a tal fi, defineix una amplada mínima inicial (4) associada a un cert període de retorn que aglutina la suma de les pèrdues d'amplada previstes.

$$W_{min} = W_{erosió} + W_{estacional} + W_{pujada\ nivell\ del\ mar} + W_{resguard} \quad (4)$$

On:

$W_{erosió}$ és la pèrdua estimable per erosió en un temps igual al del període de retorn

$W_{estacional}$ correspon al retrocés estacional de la línia de costa per canvi de perfil i per basculació en termes de màxims esperables en el període de retorn.

$W_{pujada\ nivell\ del\ mar}$ és el retrocés a causa de sobrelevacions estacionals màximes i pujades del nivell mig del mar en el període de retorn.

$W_{resguard}$ és la mínima amplada per a que no deixi d'actuar com una defensa. Es pot entendre com una amplada de seguretat.

A mode d'exemple s'explicarà com els temporals de 2001 van reduir l'ample de la platja de Lloret anul·lant la seva funció de protecció. El març d'aquell any, hi va haver un temporal de sud amb un onatge amb altures d'ona de 2,98 m, períodes pic de 9,65 segons i 62 hores de duració. Això va provocar una basculació de sediment cap a la zona nord de la platja (veure maig 2001 de la Figura 4) deixant la zona sud desprotegida. Al novembre d'aquell mateix any, la costa va rebre l'impacte de dues tempestes de l'est quasi consecutives amb altures d'ona significants d'uns 4,5 m, períodes pic de 13 s i una duració conjunta d'unes 97 hores (Iberport, 2008).

Aquesta consecució d'episodis va anular la funció de protecció de la platja que no va tenir suficient ample per reduir l'energia de l'onatge entrant. Com a conseqüència l'onatge va sobrepassar la totalitat de la seva amplada depositant sediment i impactant directament sobre les estructures del seu extradós.

A la Figura 9 es mostra l'estat del passeig de la Platja de Lloret el dia 10 de novembre del 2011. Com es fàcilment observable, a part de la presència de sediment i aigua, el passeig va col·lapsar en varis punts i les instal·lacions van quedar al descobert.



Figura 9. Estat del passeig el 10.11.2011 (Departament de Medi Ambient de l'Ajuntament Lloret de Mar)

ii) Efectes sobre la funció recreativa

Els efectes sobre la funció recreativa estan relacionats amb aquells processos que alteren la capacitat de càrrega recreativa de la platja. S'entén com a capacitat de càrrega recreativa a la quantitat de persones que poden fer ús d'una platja sense que hi hagi un impacte ni sobre el medi ni sobre l'ús, és a dir sense que la platja es degradi i sense que els usuaris se sentin incòmodes a causa de la manca d'espai.

Existiran problemes sobre la funció recreativa quan la superfície per usuari (m^2 /usuari) disminueixi i/o quan es perdi la funcionalitat dels serveis de platja existents. Un exemple del primer cas és la pèrdua d'ample efectiu de la platja per basculació i del segon és la disfunció de serveis com accessos, neteja, etc. A la Figura 10 es pot veure com els accessos de la Platja de Lloret van perdre la seva funcionalitat durant el temporal d'octubre del 2003.



Figura 10. Efectes sobre les rampes d'accés durant el temporal d'octubre del 2003 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

La càrrega potencial d'una platja es defineix com els metres quadrats que pertocquen a cada usuari. Les seves unitats són m^2/usuari i quan aquest valor és inferior a 4 es considera com a saturada. Una bona pràctica per a la predicció del comportament de la platja en termes recreatius es mirar com varia aquest paràmetre en el temps per tal d'esbrinar si satisfarà la demanda d'usuaris entrant. Per fer-ho es necessita la tendència evolutiva de la platja i la seva taxa d'erosió que és proporcional a la càrrega potencial. En aquest tipus d'anàlisi s'ha de tenir en compte que els usuaris no ocupen tot l'ample de platja disponible, si no que els 5-10 metres pròxims a la riba solen estar desocupats a causa de la seva influència amb l'onatge. D'altra banda, l'elevada temperatura superficial de la sorra obliga als banyistes a apropar-se cap a la riba. Llavors, es defineix com a zona de repòs aquella útil pels usuaris que està situada a uns 5-10 metres de la riba i a uns 10 metres del límit interior (Yepes et al., 2007).

iii) Efectes sobre la funció natural

La funció natural de les platges té a veure amb el paper que aquestes juguen com a suport físic per a la formació d'ecosistemes (Valdemoro, 2005). En aquest cas, la platja ha d'estar situada a un entorn en el que depenent de les condicions ambientals a les que està sotmesa i en funció de la dinàmica de la zona, es formarien ecosistemes costaners adequats per a les condicions locals.

L'anàlisi del paper de la platja sobre aquesta funció ha de tenir en compte tant els aspectes físics relacionats amb la platja com els biològics que podrien afectar els ecosistemes. S'afectarà negativament a la funció natural quan les condicions de la platja siguin tals que la capacitat de suport ecològic disminueixi. Aquest fet es pot donar quan la costa que sosté aquests ecosistemes s'erosiona provocant la seva desaparició o quan l'activitat humana de la zona els afecta directament.

La basculació podria ser una possible alteració de la funció natural d'una platja encaixada si afectés als ecosistemes situats en aquesta. De totes maneres, per a les platges urbanes com la de Lloret, el principal efecte negatiu sobre aquesta funció ha sigut el propi procés d'urbanització que en el seu moment va delimitar-la amb un passeig. En contraposició, altres platges com poden ser les del Delta de l'Ebre o les del Prat de Llobregat presenten aiguamolls que si que es veurien afectats si l'ample es reduís.

3. ZONA D'ESTUDI

3.1 Caracterització de la platja d'estudi

El manteniment i la gestió d'una platja són processos dinàmics que depenen de molts factors: ambientals, morfològics, hidrodinàmics... Llavors, a l'hora de plantejar qualsevol actuació, és d'especial interès conèixer com evolucionarà la platja al llarg del temps i quins són els factors que intervenen en aquest fenomen.

En aquest apartat es descriu la Platja de Lloret de Mar fent ús de la informació publicada en els capítols i annexos del Llibre Verd de la costa catalana (CIIRC, 2009) i d'alguns apartats del projecte elaborat per Iberport Consulting el 2008. Es proporcionaran dades referents a les característiques físiques de la platja i resultats principals de l'anàlisi d'evolució costanera.

3.1.1 Situació

La Platja de Lloret es troba dins la localitat de Lloret de Mar, una població de 38.624 habitants (INE, 2014) situada a la província de Girona, més concretament a la zona sud de la comarca de la Selva. Prenent la nomenclatura proposada pel Llibre Verd de la costa catalana, aquesta platja se situa dins el tram número 16 de la costa Gironina, delimitat pel Port de Blanes i la Llosa des Llevador al sud i nord respectivament. Les seves coordenades són: 41°41'55.1"N 2°50'58.6"E.

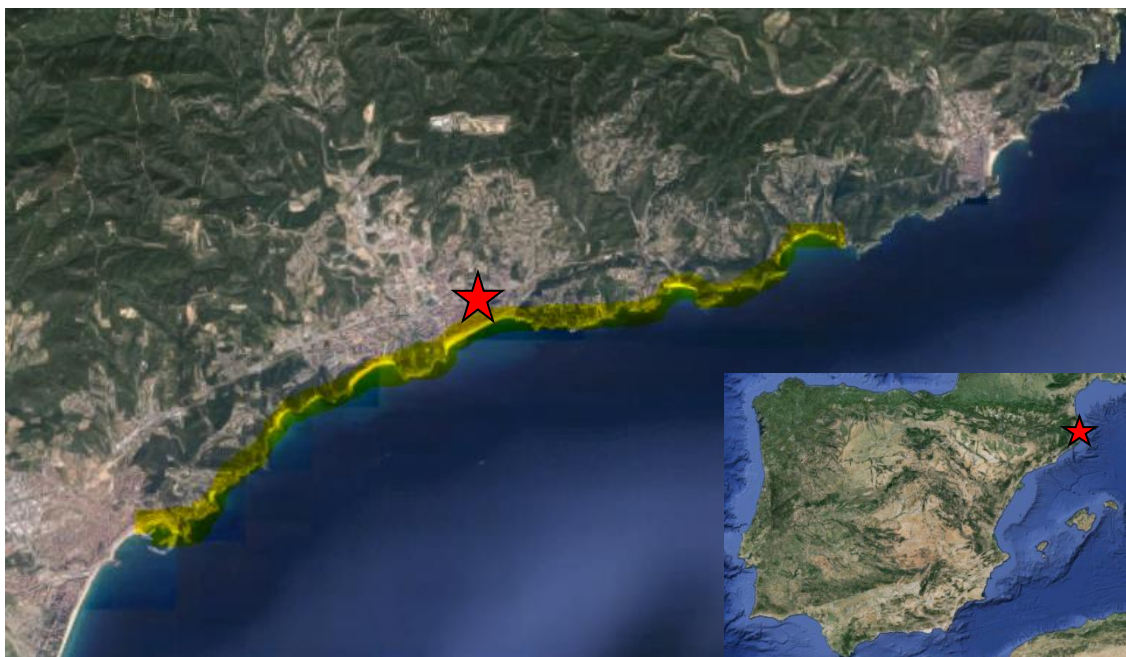


Figura 11. Situació de la Platja de Lloret dins el tram 16 marcat en groc



Figura 12. Ortofoto de la Platja de Lloret (ICGC)

3.1.2 Descripció general

Atenent a característiques morfològiques, la platja de Lloret té una longitud de 1.419 m i un ample mig emergit d'uns 50 m. Amb un superfície de 53.428 m², es troba encaixada entre penya-segats baixos i presenta una configuració de línia de costa pràcticament lineal, orientada 60° respecte al nord, amb excepció de les zones més pròximes als extrems on adopta una configuració corba. Té aquesta forma gràcies a que els extrems que delimiten la cel·la i que alhora són els punts de difracció no sobresurten en excés, cosa que no afavoreix a aquest fenomen i la consegüent forma parabòlica.

Es tracta d'una platja urbana que ha d'albergar gran part del turisme que visita la ciutat, xifrat en més d'1.5 milions de turistes anuals amb major aflluència durant els mesos d'estiu. El seu principal ús és turístic i recreatiu, tot i que també ho és el nàutic i l'esportiu gràcies al Club Nàutic o altres entitats relacionades amb el rem. Aquesta gran aflluència de visitants provoca que durant els mesos d'estiu s'assoleixin densitats d'usuari properes a la càrrega de saturació (4-5 m²/usuari). Llavors, la gestió d'aquesta amplada és un tema rellevant dins el municipi, ja que qualsevol variació pot influir negativament al número d'usuaris de la platja i consegüentment a l'economia local de la zona.

A part del rol turístic, la Platja de Lloret constitueix un element fonamental de protecció de les infraestructures durant els mesos de tempestes gràcies a la seva capacitat de dissipar l'energia de l'onatge incident. D'altra banda, ja que les infraestructures i serveis existents no es poden realinear, es necessita un ample mínim de platja que les protegeixi de les accions de temporal. Per tant, assegurar un ample mínim és important tant pel vessant turístic com per la de protecció.

És una platja reflectant (Figura 13) on al seu extrem sud s'hi troba una canalització per donar sortida a les aigües de la riera de Lloret i dos emissaris submarins. A part, hi ha tres espigons curts localitzats a la platja seca i un mur d'escullera situat al llarg del passeig. Aquest es situa a la cota +4 aproximadament. El Llibre Verd de la costa catalana exposa que el pendent de l'estrany (la zona delimitada entre la baixamar i la plenamar) és de 0,15/0,13/0,13 per la zona sud, centre i nord respectivament. La profunditat de tancament és de 7,6 m.

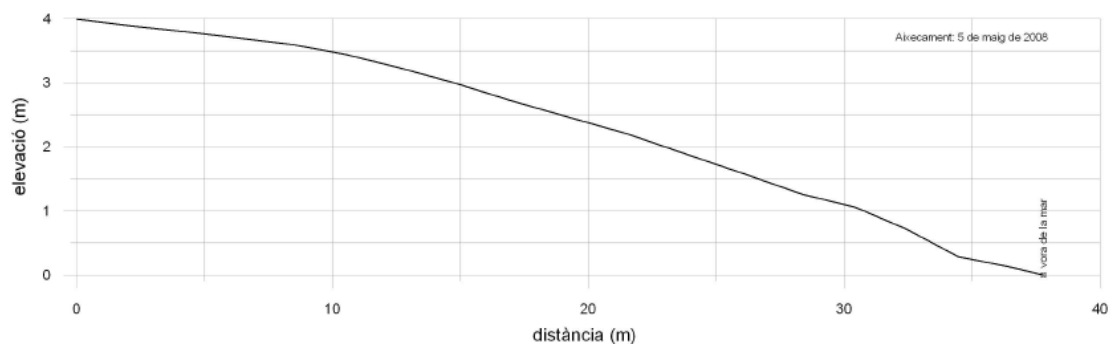


Figura 13. Perfil de la zona central de la Platja de Lloret corresponent al 2008 (Llibre Verd de la costa catalana, 2009)

Pel que fa a la granulometria, la platja està composta per arena gruixuda de naturalesa silícica típica de la zona provinent d'aportacions continentals de les rieres i del possible transport longitudinal de sediment que pugui superar els sortints rocosos. El seu d_{50} és de 1,46 mm amb una variació estàndard de 0,6 mm (Figura 14).



Figura 14. Sediment de la Platja de Lloret (Llibre Verd de la costa catalana, 2009)

La batimetria de la Platja de Lloret es mostra a la Figura 15. S'ha extret del projecte d'estabilització de la platja de Lloret fet per Iberport Consulting l'any 2008. Tal i com succeeix a altres platges de gra gruixut, el pendent mitjà és alt, rondant el 10% pels primers 5 metres de profunditat.

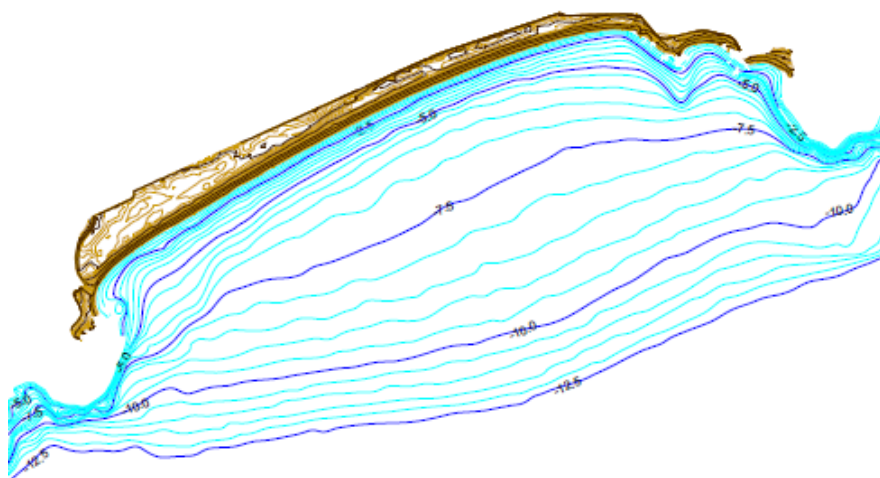


Figura 15. Batimetria de la Platja de Lloret (Iberport, 2008)

3.1.3 Hidrodinàmica

La caracterització de l'onatge de la zona proposada pel Llibre Verd de la costa catalana s'ha dut a terme a partir de les dades registrades per la boia de la Xarxa d'Instrumentos Oceanogràfics i Meteorològics (XIOM) localitzada davant del delta de la Tordera a uns 8 km de la Platja de Lloret. Aquestes dades es van prendre des de l'any 1984 fins al 2007. Les roses d'onatge corresponents al clima d'onatge mitjà es representen a continuació:

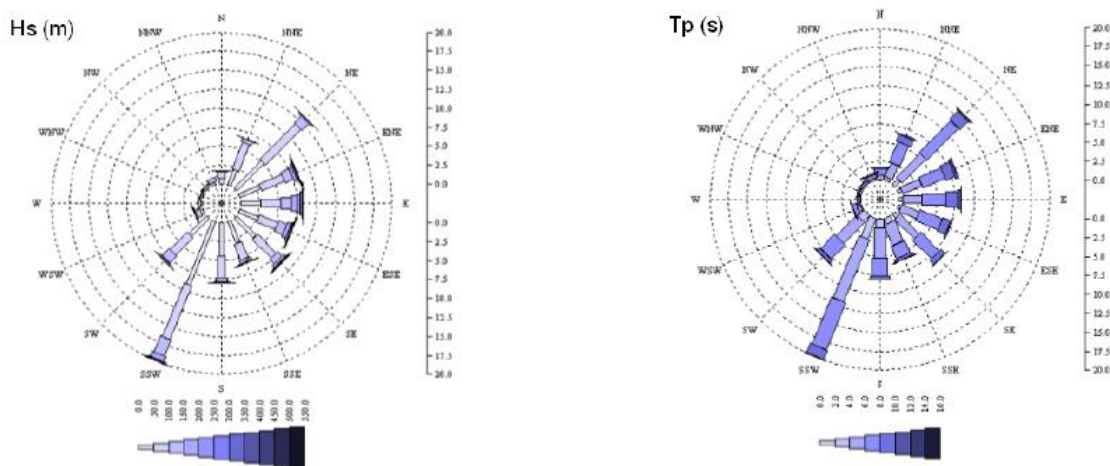


Figura 16. Roses d'onatge corresponents al clima mitjà d'onatge segons les dades de la boia de Tordera (Llibre Verd de la costa catalana, 2009)

Es pot apreciar que les direccions dominants es corresponen amb l'arc ENE-SSW, essent aquesta última la més persistent. Dins d'aquest ventall de direccions, és remarcable també que l'arc ENE-SE presenta freqüències d'aparició similars. De totes maneres, l'onatge procedent de la direcció ENE pot ser considerat de segon ordre gràcies a la pròpia orientació de la costa i als sortints rocosos de la Punta des Cabdells i del Calafat que limiten la platja al seu extrem nord. L'altura i període d'ona mitjos registrats són de 0,69 m i 6,2 s respectivament. D'altra banda, el màxim registrat d'aquesta parella de valors és de 5,28 m i 14,6 s.

Si es vol estudiar quines direccions afectaran en major mesura al basculament, s'ha de fer un cop d'ull al contingut energètic de l'onatge ja que el transport de sediments depèn directament de l'altura d'ona al quadrat. Els resultats obtinguts pel LIM durant el període de 1996 a 2005 pel punt Wana 2070053 situat prop de la zona d'estudi (Figura 17) mostren com les direccions més potents energèticament parlant són la E i la SSW (llevant i aproximadament garbí).

A part, aquest estudi del LIM va concloure que d'acord amb el clima extremal de la zona, els temporals de llevant presenten els majors períodes i altures d'ona. Per exemple, l'altura d'ona significant H_s associada a un període de retorn de 5 anys és de 4,6m per la direcció del E i de 3,1 m per la del S.

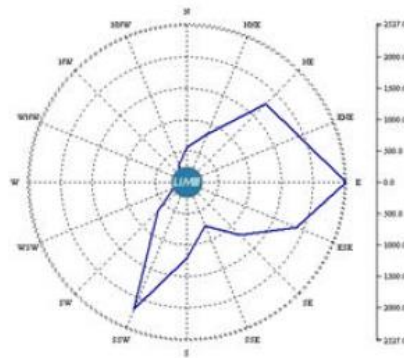


Figura 17. Contingut energètic parametritzat com altura d'ona al quadrat entre 1996 i 2005 a partir del punt WANA 2070053 (LIM, 2005)

3.1.4 Dinàmica

Tal i com s'ha comentat anteriorment, el transport de sediments en una cel·la es tradueix en un basculament de l'arena augmentant l'ample de platja de l'extrem oposat a la direcció de procedència de l'onatge i una disminució d'aquest a la zona d'on prové l'onatge.

El Llibre Verd de la costa catalana proposa uns valors de les taxes de transport longitudinal potencial de sediments a partir de les dades d'onatge i les característiques locals de les platges (orientació de la línia de riba, granulometria i pendent de la platja) mitjançant el model del CERC i el de Kamphuis.

Els valors són de l'ordre de 24.467 m³/any i cap a ponent. D'altra banda, no hi ha dubte en la direcció de transport que serà orientada cap al sud. Aquest fet lliga amb la tendència general del transport de sediments a la costa catalana que també és cap al sud.

L'estat evolutiu de la platja de Lloret és erosiu, sofrint un retrocés de 0,48 m/any de la seva amplada mitja i una erosió mitja de 3,17 m/any. Aquest fet sumat al del basculament pot provocar la pèrdua de l'efecte dissipador de la platja en determinades zones on l'ample de platja no és suficient per fer front a l'onatge incident.

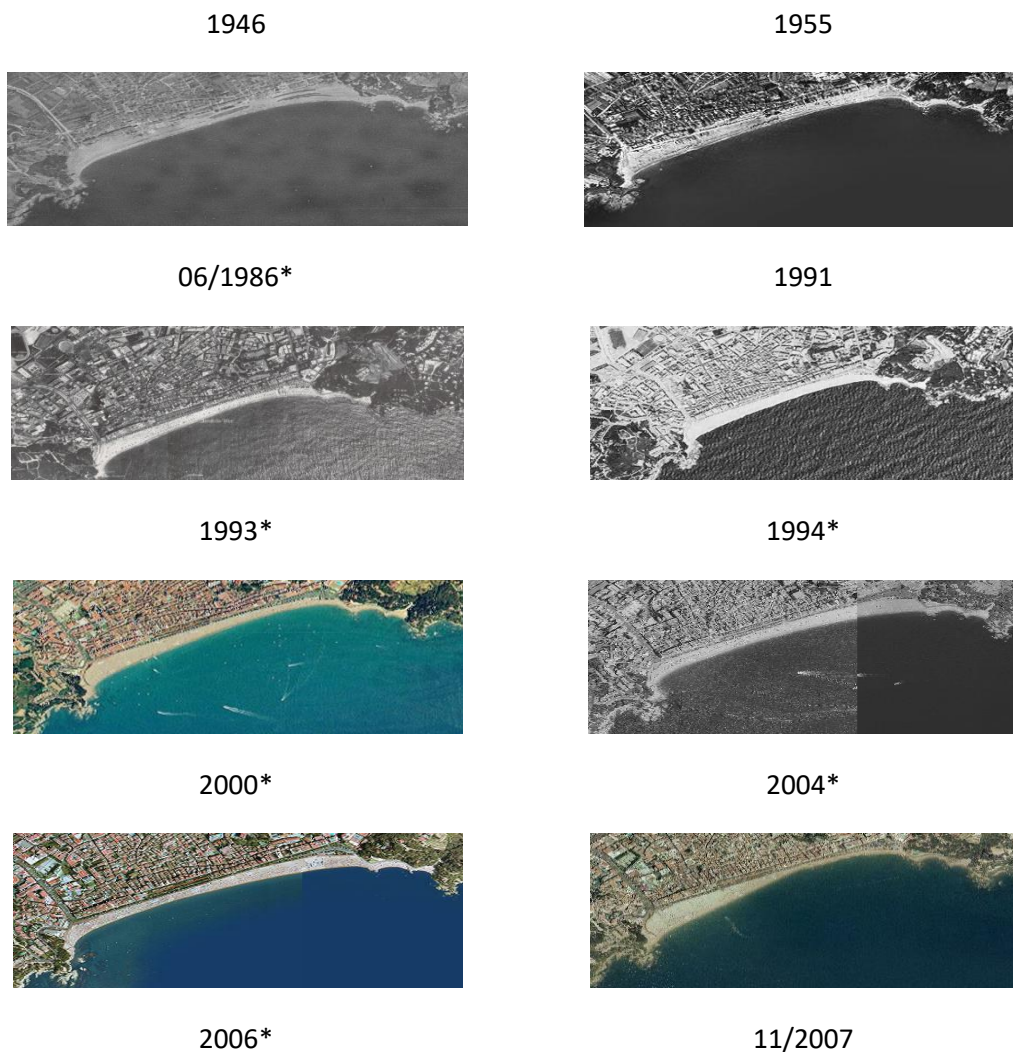
4. METODOLOGIA

4.1 Dades de partida

En aquest apartat es presenten les fonts de dades usades en el transcurs de l'estudi. En primera instància, es fa una breu explicació de les ortofotos emprades per digitalitzar la línia de costa. Acte seguit, s'exposen les dades d'onatge de domini públic procedents dels punts SIMAR i de la boia de Palamós. Finalment, es recull la informació facilitada per la regidoria de medi ambient de l'ajuntament de Lloret de Mar.

4.1.1 Ortofotos i imatges aèries

Digitalitzar la línia de costa mitjançant fotografies aèries per tal d'estudiar la morfodinàmica d'un entorn costaner és un recurs universalment emprat (Thomas et al., 2016; Rondón et al., 2011). En el present anàlisi de la platja de Lloret, s'han usat 10 ortofotos proporcionades per l'Institut Cartogràfic i Geogràfic de Catalunya (ICGC) i 8 fotografies aèries extretes de google earth, de l'Instituto Geográfico Nacional (IGN) i del Cartogràfic de Catalunya (ICC) (Figura 18).



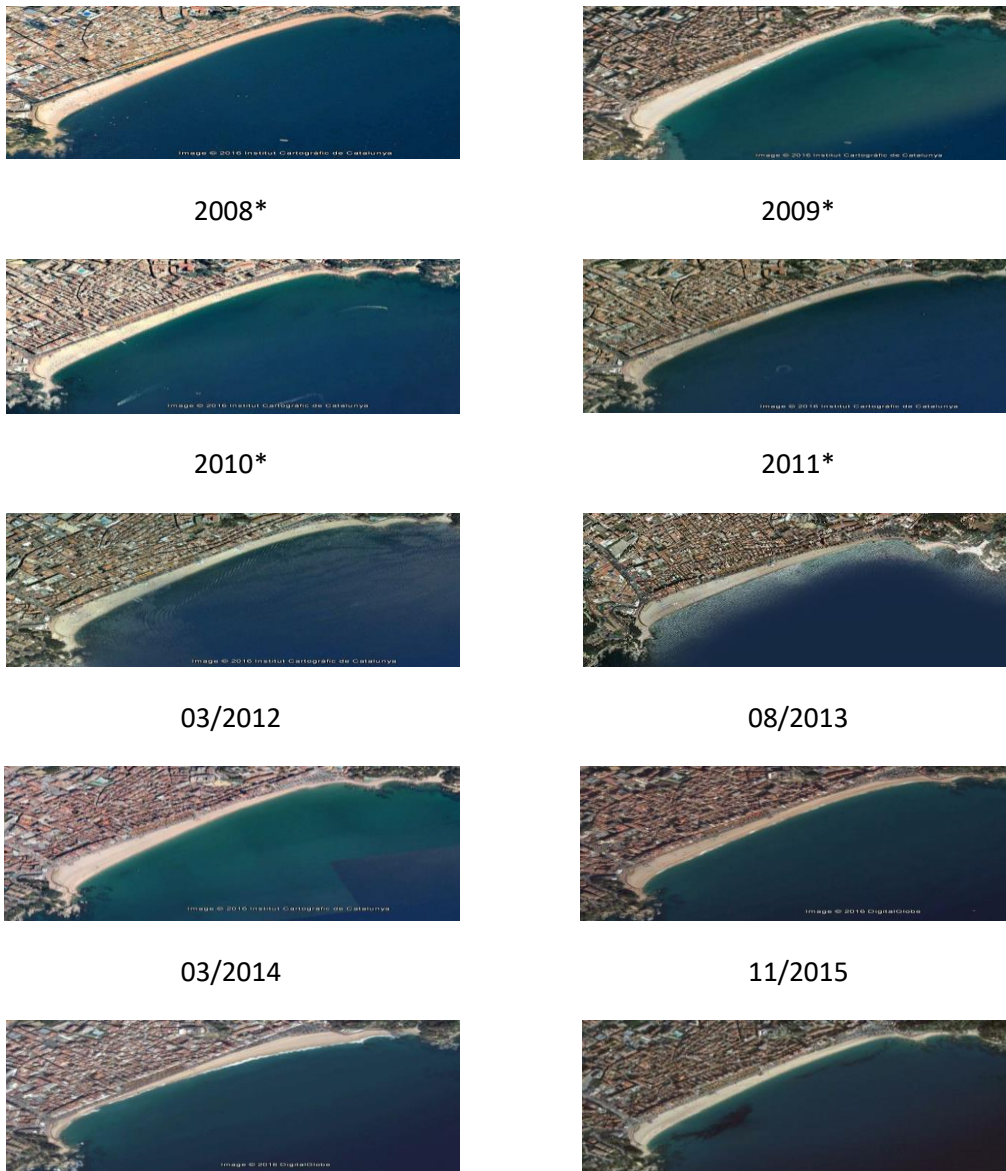


Figura 18. Ortofotos (marcades amb asterisc) i imatges àeries usades per digitalitzar la línia de costa de la Platja de Lloret. De les ortofotos no se sap exactament el mes ni el dia en que es van capturar ja que solen estar creades a partir de diferents fotogrames de dies o fins i tot mesos diferents

Mentre que les ortofotos són documents ja georeferenciats, les fotografies àeries s'han de georeferenciar en concordança amb aquestes primeres. S'entén com a projecció cartogràfica al mètode emprat per transformar la superfície aproximadament esfèrica de la terra a una superfície plana més còmode de manipular. Aquí s'ha escollit el sistema de coordenades projectades ED50_UTM_zone_31N. On ED50 designa que el datum usat és l'European Datum 1950.

Per georeferenciar les imatges àeries s'ha usat el software ArcGis Desktop 10.5 amb l'aplicació ArcMap 10.5.0.6491. Partint d'una ortofoto ja georeferenciada, ArcMap permet assignar punts de la imatge àeria que volem projectar a punts de la ortofoto correctament projectats. De tal manera que identificant uns tres o quatre punts invariants de les dues imatges (punts de massissos rocosos, edificis singulars, etc.) com a punts de control, el programa els superposarà desplaçant la imatge a referenciar sobre la ja referenciada.

L'aplicació també ofereix una mesura de la fiabilitat d'aquesta projecció calculant la diferència entre on ha acabat el punt de partida i la ubicació real especificada. L'error total de la georreferenciació es calcula mitjançant la suma quadràtica mitja (RMS) de tots els errors residuals de cada punt de control segons la següent expressió:

$$RMS = \left[\left(\sum (N_c - N_t)^2 + \sum (E_c - E_t)^2 \right) / n \right]^{1/2} \quad (5)$$

On N i E expressen les coordenades de la projecció i dels punts de control segons si presenten el subíndex t o c respectivament.

A continuació s'exposen els errors obtinguts durant la georreferenciació de les 8 fotografies aèries:

Any	RMS (m)
1946	1,03
1955	1,26
1986	0,35
1989	2,06
2007	0,98
2013	0,80
2014	0,98
2015	0,80

Taula 1. Error RMS de les imatges aèries projectades

4.1.2 Dades de Puertos del Estado

4.1.2.1 Dades SIMAR

Les sèries SIMAR sorgeixen de la fusió de dos conjunts de dades: SIMAR-44 i WANA, oferint dades des de 1958 a l'actualitat. El conjunt de dades SIMAR-44 està format per sèries temporals de paràmetres atmosfèrics i oceanogràfics procedents del modelat numèric. Són, per tant, dades simulades per ordinador i no procedeixen de mesures directes de la natura. El subconjunt WANA procedeix de la part de diagnòstic o anàlisi del sistema de predicció de l'estat de la mar que Puertos del Estado ha desenvolupat amb la col·laboració de l'Agència Estatal de Meteorologia.

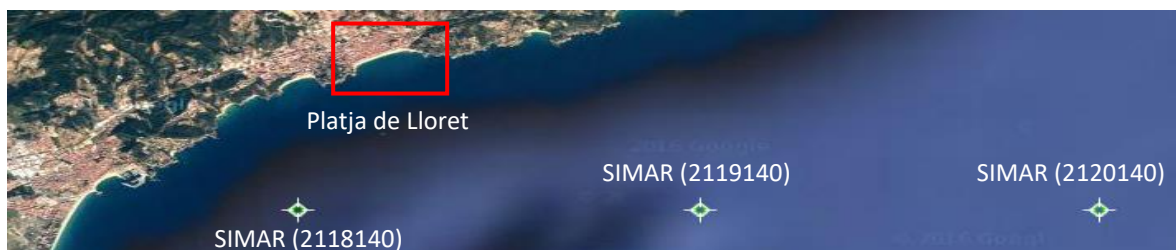


Figura 19. Situació dels punts SIMAR usats a l'estudi

Tal i com es pot observar a la Figura 19, per aquest estudi s'han pres els tres punts SIMAR situats més a prop de la Platja de Lloret. Aquests corresponen al SIMAR 2118140, SIMAR 2119140 i SIMAR 2120140.

4.1.2.2 Boia de Palamós

També s'analitzaran les dades d'onatge del port més proper que té boia, el de Palamós. Les dades provinents d'aquesta boia es reben a través de dos canals: Un de dades processades per Puertos del Estado i un altre de transmeses a temps real que s'usen per completar possibles errades d'emmagatzematge a la boia o per completar buits.



Figura 20. Localització de la boia de Palamós

4.1.3 Temporals documentats per l'Ajuntament de Lloret

La documentació dels temporals realitzada per la regidoria de Medi Ambient de l'ajuntament de Lloret de Mar és essencial per tal d'identificar dins de les sèries d'onatge quins episodis han produït basculació. Gràcies a la informació facilitada per la pròpia regidora, es pot saber quan els temporals han causat danys o desperfectes remarcables a les zones pròximes a la costa i quines han sigut les actuacions dutes a terme per esmenar-los. Sovint es tracta de documentació en forma d'imatges que ens aporten informació de cap a quin costat ha basculat la platja, és a dir la direcció principal del temporal i dels desperfectes que aquest ha causat. A continuació es farà un breu resum dels temporals dels que es disposa informació.

a) Març del 2001

Temporal de garbí que va arribar a provocar el col·lapse d'alguns trams del passeig tot deixant al descobert trams d'escullera situats als peus d'aquest. Aquest temporal, que no correspon a la direcció predominant d'onatge de la zona, va fer bascular la platja cap al nord.

b) Novembre del 2001

Temporal de llevant més nociu que el de març de 2001 explicat anteriorment. A part de deixar part de l'espigó del peu de passeig descobert, l'*overtopping* va transportar sediment fins a la carretera paral·lela al passeig fent que s'hagués de desviar el trànsit. A més a més, els pàrquings situats als subterranis dels blocs de primera línia de costa es van inundar. El cost valorat dels danys produïts ascendia a la xifra de 300 milions de les antigues pessetes.



Figura 21. Efectes del temporal de llevant de novembre del 2001 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

La imatge enfoca a la zona sud-oest de la platja, on es pot apreciar l'acumulació de sorra a la carretera. Els efectes d'aquest temporal van ser devastadors degut principalment al temporal de març d'aquell mateix any que va provocar una basculació prèvia cap al nord deixant exposada la part sud.

c) Octubre del 2003

Temporal de llevant que va provocar el col·lapse de l'estructura d'alguns trams del passeig i va trencar mobiliari com quioscos, accessos a la platja i torres de socorrisme que en aquell temps eren estructures metàl·liques fixes. Actualment es tracten d'estructures de fusta que es guarden durant l'època de tempestes. També es van donar altres desperfectes com l'acumulació de sorra al passeig.



Figura 22. Efectes sobre les torres de socorrisme del temporal d'octubre del 2003 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

d) Octubre del 2005

Novament un temporal de llevant que va acumular grans quantitats de sediment a la zona sud oest de la platja deixant al descobert trams d'espigó de la zona nord i central. Aquest episodi de temporal marítim va estar acompanyat de pluges intenses que van provocar problemes a la desembocadura de la riera de Lloret que justament està a la zona on s'acumula la sorra quan els temporals provenen de llevant. Per tal de que la riera pogués abocar el seu cabal al mar, es va haver de netejar de sediment la secció final del seu tram cobert.



Figura 23. Efectes del temporal d'octubre del 2005 sobre la zona de desembocadura de la riera de Lloret (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

e) Abril del 2007

Temporal de llevant amb efectes sobre la zona nord que van deixar descobert l'espigó del peu del passeig i van malmetre alguns accessos a la platja. De nou, aquest es un altre episodi clar de basculació de la platja cap a la part sud, deixant la zona nord exposada.

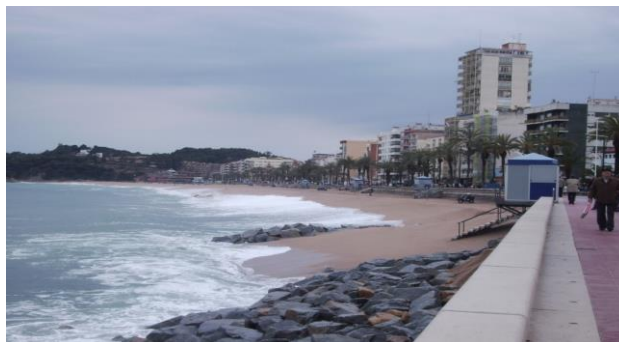


Figura 24. Exposició de la zona nord i acumulació de sediment a la zona sud a causa del temporal d'abril del 2007 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

f) Desembre del 2007

Episodi de llevant amb efectes similars als d'abril d'aquell mateix any que va deixar al descobert un seguit d'instal·lacions situades a peu de passeig.



Figura 25. Basculació produïda pel temporal de desembre del 2007 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

Cal remarcar que la basculació implica majors costos de redistribució de sediment si es dona just abans del començament del període en que la platja s'usa per la funció recreativa (finals primavera). Això és a causa de la no disposició de temps perquè la platja redistribueixi sediment de forma natural i tot ha de ser forçat.

g) Desembre del 2008

El temporal de llevant del desembre de 2008 va impactar sobre la platja durant el dia de Sant Esteve, i va produir inundacions a les zones pròximes al passeig així com dels pàrquings de primera línia, ruptura de mobiliari del passeig i acumulació de sorra que va haver de ser extreta amb maquinària. Com ja havia succeït en altres episodis, es va acumular arena a la zona de la desembocadura de la riera que es va haver de remoure. Valoració estimada dels danys de 342.000 € (obstrucció de riera, retirada de sorres dipositades damunt el passeig, arrossegament materials a la platja, moviment de sorres i anivellament platja) i de 166.000€ (afectació al mobiliari i instal·lacions, palmeres trencades, arbrat i jardins malmesos).



Figura 26. Acumulació de sorra a la zona del passeig a causa del temporal de San Esteve del 2008 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

A més, aquest temporal també va malmetre l'emissari submarí que es troba situat pocs centenars de metres al sud de l'extrem meridional de la platja.

h) Març del 2010

Temporal de llevant acompanyat de forts vents i neu. No apareixen danys excepcionals documentats.

i) Abril del 2011

Temporal procedent de llevant que va provocar basculació amb acumulació de sorra a la zona de la desembocadura de la riera i destapament de part de l'espigó de la zona nord.



Figura 27. Efectes del temporal d'abril del 2011 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

j) Març del 2013

Llevantada que va produir basculació, deposició d'arena sobre algunes zones del passeig i destapament de l'espigó que protegeix la zona centre-nord del passeig.



Figura 28. Deposició d'arena a la zona sud del passeig a causa del temporal de març del 2013 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

k) Gener i Febrer del 2014

Temporal de garbí que va fer bascular la platja en direcció contrària a la que sol fer-ho. El temporal de garbí acumula sorra a l'extrem septentrional de la platja buidant la zona sud. Per tant, en aquest temporal hi va haver una basculació cap al nord i una pèrdua de sediment a la zona de la desembocadura de la riera.



Figura 29. Efecte d'una basculació cap al nord provocada per un temporal de garbí com el de gener del 2014 (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

Com podem observar, es destapen zones d'espigó de la part central sud en contraposició amb els efectes d'un temporal de llevant que destapa espigons de la part central nord i nord. També va quedar al descobert un tub de reg de la platja que va haver de ser substituït.

Podem veure que dels 12 temporals documentats per la Regidoria de Medi Ambient entre els anys 2001-2016, només dos episodis han sigut de garbí, essent els altres de llevant. És important remarcar que en aquest apartat s'estan classificant els temporals de forma qualitativa entre llevant i garbí segons com ha basculat la platja i la informació recollida. De totes formes, amb les dades d'onatge ja s'ha determinat la seva procedència quantitativament i pot ser que en comptes de llevants i garbins, tinguin procedències amb un lleuger desviament. També podem concloure que els principals danys que produeixen els temporals a la Platja Gran de Lloret són:

- Inundació de zones del passeig
- Inundació de pàrquings de primera línia
- Sedimentació a algunes zones del passeig
- Sedimentació a algunes zones de la carretera posteriors al passeig
- Efectes sobre les palmeres i plantes del passeig
- Col·lapse de diferents trams del passeig
- Col·lapse dels bancs de formigó dels extrems del passeig
- Trencament d'accessos fixes a la platja
- Trencament de mobiliari de la platja (escales de vigilants, dutxes, etc.)
- Acreció a la zona de la sortida de la riera
- Efectes en els emissaris de la zona
- Desgast d'espigons que es veuen destapats
- Destapament de cablejat
- Destapament de tubs de reg

Finalment, la regidora també va facilitar un cost anual total de manteniment que es va complir amb informació aportada per costes de Girona (Ministerio del Medio Ambiente)

	Inversió (€)
2001	150.000
2002	4.226
2003	350.000
2004	103.500
2005	2.200
2006	16.140
2007	29.277
2008	21.100
2009	48.270
2010	11.300
2011	56.640
2012	10.337
2013	2.831
2014	Sense dades
2015	9.438
2016	46.101
TOTAL	855.681

Taula 2. Inversió a la Platja de Lloret (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar, MMA)

Dels costos del 2009, 27.000€ corresponen al temporal de Sant Esteve de 2008. És remarcable el fet que per aquest temporal s'havien pressupostat uns danys aproximats d'uns 500.000€ i que finalment només es va acabar invertint un 6% d'aquest valor a efectes de manteniment.

4.2 Anàlisi de les ortofotos

4.2.1 Tractament de les línies de costa

Amb totes les fotografies en el mateix sistema de coordenades projectades (ED50_UTM_zone_31N), el següent pas per digitalitzar la línia de costa s'ha fet mitjançant el software lliure "The Digital Shoreline Analysis System" (DSAS) que treballa dins l'aplicació ArcGis (Thieler et al., 2009). Aquest software computa diferents estadístics referents a la variació de la línia de costa en el temps.

El software exigeix tres inputs principals: la capa de línia base, la de línies de costa i la capa que conté els diferents transectes on es vol calcular l'ample de platja. La primera representa la línia a partir de la qual es calcularà l'ample de platja en cada un dels instants de temps. A partir de la línia base i en direcció perpendicular a ella, neixen els transectes que indiquen exactament on es calcularà l'ample de platja. Finalment, la capa de línies de costa conté les digitalitzacions de les línies de costa de cada una de les imatges de partida. En aquest estudi s'ha pres com a línia base el límit entre el passeig peatonal i la zona de sorra, com a línia de costa a la formada pel contacte de la massa d'aigua del mar i la sorra i s'han distribuït els transectes cada 60 metres.



Figura 30. Inputs del software DSAS. En la imatge superior (a) apareixen els transectes en color lila i la línia base de color blau clar. En l'inferior (b) s'il·lustren les diferents línies de costa digitalitzades a partir de les ortofotos i imatges aèries

4.2.2 Resultats

Primerament, s'ha comparat la línia de costa més recent (novembre de 2015) amb la més antiga corresponent al 1946. S'ha pres aquesta com a referència pel fet que, a part de ser la més antiga, no presenta basculació cap a cap extrem de la platja i es considera com una línia de costa neutra.

Com a patró general, es pot veure com la tendència de la platja és a bascular cap al sud. S'observa doncs que els colors verds que indiquen avanç de la línia de costa es concentren en els transectes T1-T6. En contraposició els colors vermellosos es situen majoritàriament entre els transectes T13-T20 (extrem nord) denotant una migració de sediment d'aquest extrem cap a la zona meridional. Finalment s'aprecia una zona central compresa entre T7-T12 on els canvis que pateix la línia de costa no són tan apreciables com a les zones nord i sud anteriorment comentades. Es poden veure aquests tres comportaments a la Figura 31 on es representa l'evolució temporal de la línia de costa a cada transecte. És d'interès veure que la basculació es fa evident quan es compara la gràfica del tram nord i del sud (Figura 31 (c) i (a) respectivament) ja que són gairebé simètriques respecte un eix horitzontal. En altres paraules, quan la zona nord pateix retrocés, la sud avanç i a l'inrevés. S'observa també que el transecte amb menys canvis és el T11.

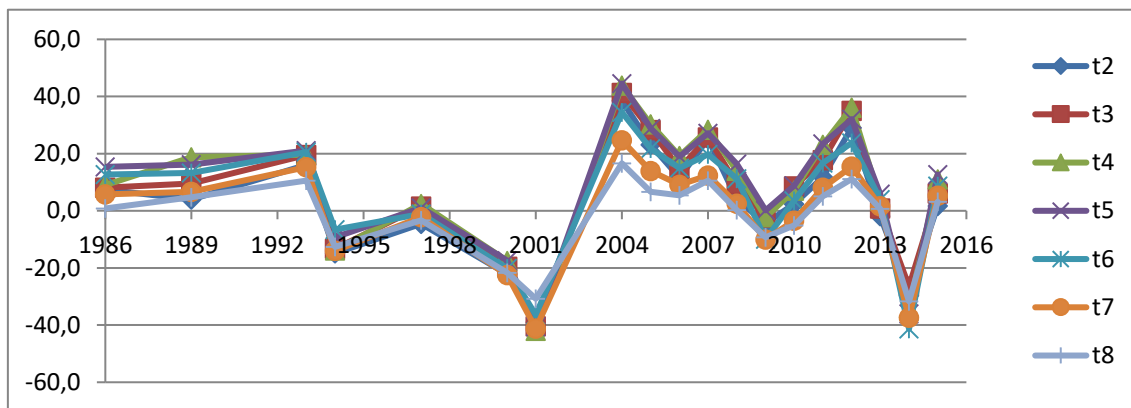
Aquest anàlisi general permet afirmar que els temporals que han propiciat la majoria d'episodis de basculació en els últims 30 anys han sigut procedents de l'est, és a dir llevant o similars. De totes maneres, hi ha casos com el 2000, el 2001 i el 2014 hi va haver temporals de component sud que van fer bascular la sorra cap a la zona nord de la platja.

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

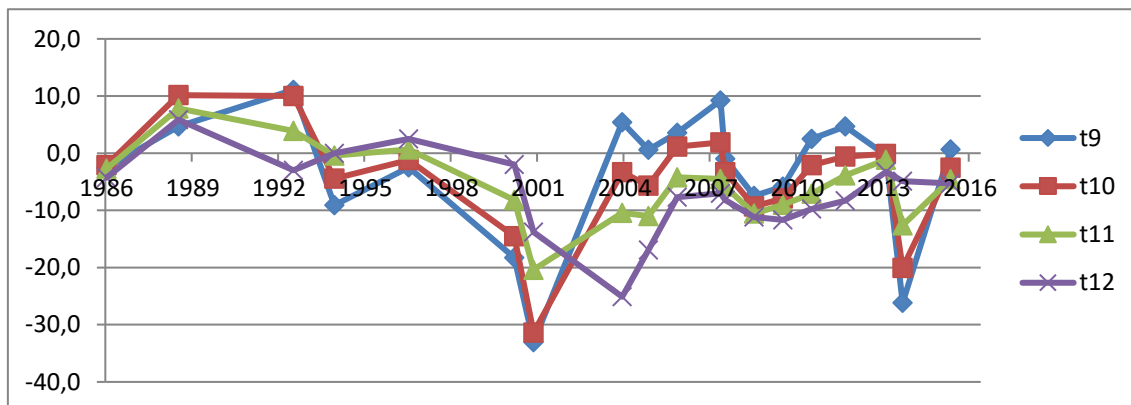
Transect Id	01-1955	07-1986	01-1989	01-1993	01-1994	01-1997	01-2000	05-2001	01-2004	05-2005	01-2006	11-2007	01-2008	01-2009	01-2010	01-2011	03-2012	08-2013	03-2014	11-2015
(SUD) 1		7,6		9,2	-3,1	-3,6	-11,4	-17,3	36,4	21,5	10,5		4,3	1,5	5,3	7,9	19,7			-2,7
2	8,0	7,5	3,9	16,1	-14,9	-4,5	-22,2	-38,9	38,6	23,1	11,6	25,3	4,0	-4,5	2,4	11,8	29,1	-1,9	-28,3	1,8
3	13,5	8,1	9,5	19,6	-13,2	1,5	-19,5	-40,4	41,3	28,2	14,7	25,7	9,4	-2,3	8,6	17,8	35,0	0,9	-26,5	6,1
4	16,4	9,0	18,7	19,6	-13,9	2,4	-17,5	-41,9	43,8	30,3	19,2	28,4	14,0	-2,2	7,0	23,1	36,1	3,5	-34,0	11,0
5	20,3	15,4	16,1	21,1	-9,3	1,0	-17,4	-40,5	44,5	28,8	18,9	27,1	16,4	0,1	8,7	23,4	32,1	5,9	-36,0	12,7
6	18,8	12,7	13,3	20,5	-6,5	-1,1	-20,1	-36,5	34,5	21,8	15,0	19,7	11,3	-10,0	3,5	16,8	23,8	4,0	-41,3	8,7
7	11,9	5,8	6,6	15,3	-14,0	-2,2	-22,4	-41,2	24,7	14,0	9,1	12,3	2,5	-10,0	-3,4	8,1	15,5	1,6	-37,4	5,2
8	10,6	0,8	4,7	10,6	-12,6	-3,4	-21,7	-30,7	16,6	6,7	5,4	10,6	0,2	-9,2	-5,1	5,0	11,1	0,7	-31,7	3,2
9	6,5	-2,5	4,7	11,1	-9,1	-2,5	-18,3	-33,1	5,4	0,6	3,6	9,2	-1,0	-7,4	-5,8	2,5	4,7	-0,4	-26,2	0,7
10	1,0	-2,1	10,1	10,0	-4,4	-1,2	-14,5	-31,4	-3,3	-5,7	1,2	1,9	-3,3	-9,3	-7,9	-2,1	-0,6	-0,1	-20,1	-2,6
11	-3,0	-2,7	7,8	3,9	-0,4	0,6	-8,2	-20,4	-10,4	-11,0	-4,2	-4,5	-5,9	-10,6	-9,0	-7,1	-3,9	-1,2	-12,6	-4,5
12	-2,8	-4,3	5,9	-3,0	0,0	2,5	-2,0	-13,8	-25,1	-16,9	-7,7	-7,0	-8,2	-11,2	-11,7	-9,8	-8,3	-3,3	-4,9	-5,3
13	-6,2	-5,3	4,9	-2,6	8,5	5,1	2,8	0,2	-32,7	-21,7	-7,9	-13,2	-7,7	-7,2	-11,5	-11,2	-13,5	-1,5	6,5	-4,5
14	-11,9	-6,9	4,9	-3,2	10,7	6,5	5,1	10,4	-23,9	-23,2	-12,9	-18,3	-7,9	-4,9	-13,5	-12,7	-17,6	-0,4	14,0	-3,7
15	-17,9	-9,7	4,0	-7,1	11,3	9,4	10,1	21,7	-31,5	-27,5	-13,4	-18,0	-10,4	-2,8	-12,8	-20,0	-21,5	-0,9	20,3	-6,3
16	-17,9	-14,3	-0,9	-17,3	12,3	8,2	10,3	31,8	-34,4	-32,2	-18,6	-24,2	-14,9	-6,3	-13,7	-26,7	-30,2	-5,1	28,4	-12,7
17	-25,9	-17,5	-5,8	-24,6	12,8	6,1	7,9	37,8	-39,0	-37,0	-23,5	-29,6	-20,0	-7,2	-17,3	-37,5	-40,6	-9,4	32,9	-18,4
18	-33,7	-16,4	-11,1	-28,2	12,2	5,5	4,6	41,7	-34,4	-38,4	-28,4	-30,6	-24,8	-6,3	-20,2	-44,2	-36,4	-9,7	35,1	-26,0
19	-39,3	-16,8	-19,6	-30,0	6,7	0,7	-2,5	41,0	-38,0	-41,7	-35,3	-40,5	-32,8	-7,9	-21,0	-43,9	-46,2	-17,9	34,1	-36,6
(NORD) 20	-19,9	-15,8	-22,1	-21,5	-1,3	2,2	-7,3	34,2	-20,7	-31,6	-24,8	-29,2	-23,1	-9,6	-22,5	-30,4	-25,5	-18,5	27,4	-22,5
φ T2-T6	15,4	10,5	12,3	19,4	-11,6	-0,1	-19,4	-39,7	40,5	26,5	15,9	25,2	11,0	-3,8	6,0	18,6	31,2	2,5	-33,2	8,1
φ T7-T12	4,0	-0,8	6,6	8,0	-6,8	-1,0	-14,5	-28,4	1,3	-2,1	1,2	3,8	-2,6	-9,6	-7,2	-0,6	3,1	-0,4	-22,1	-0,6
φ T13-T20	-21,6	-12,8	-5,7	-16,8	9,1	5,5	3,9	27,4	-31,8	-31,7	-20,6	-25,4	-17,7	-6,5	-16,6	-28,3	-29,0	-7,9	24,8	-16,3

Taula 3. Desplaçament relatiu de la línia de costa respecte l'any 1946. Les distàncies estan en metres i els valors negatius indiquen retrocs de la línia de costa. Els colors vermells indiquen retrocs o pèrdua d'ample i els colors verds avanç

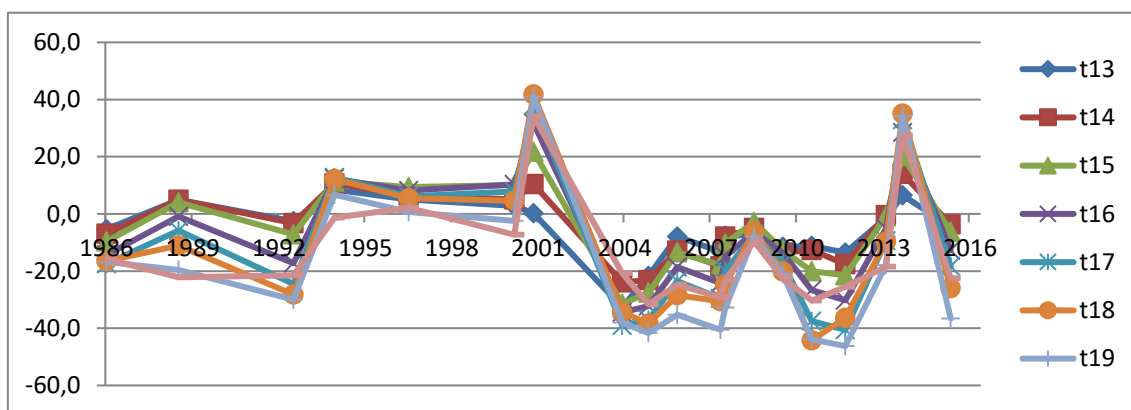
Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar



(a)



(b)



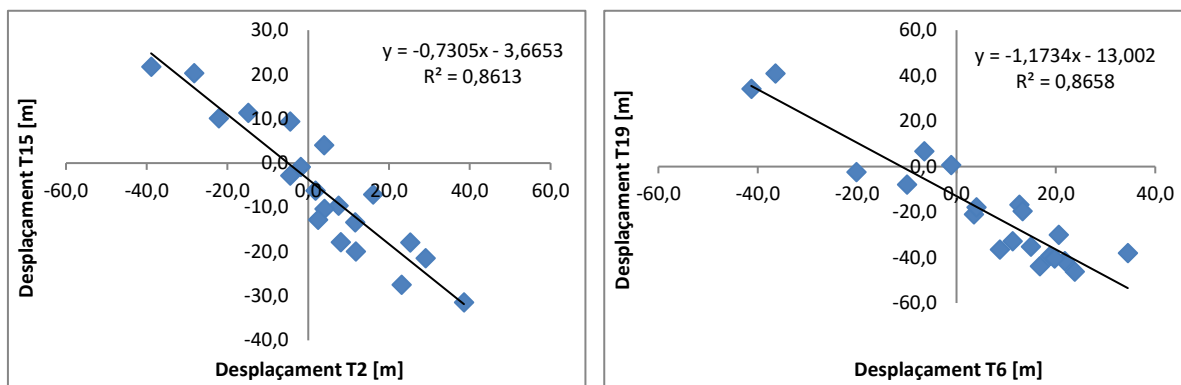
(c)

Figura 31. Evolució de la línia de costa respecte l'any 1945 pel tram sud (a), centre (b) i nord (c)

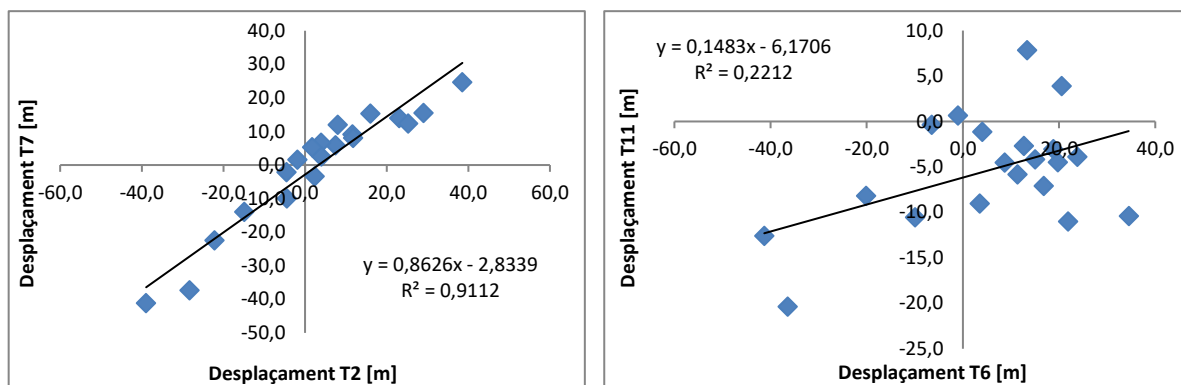
Un altre front d'anàlisi és veure les relacions entre moviments de transectes situats a diferents zones de la platja (nord, central i sud) dos a dos. Si es representen els moviments en els transectes de la zona nord en ordenades i de la zona sud en abscisses, la línia de tendència que millor s'ajusta al núvol de punts té pendent negatiu (relació inversa) amb valors de R^2 que ronden el 0,9 (Figura 32 a1 i a2). Llavors canvis produïts a la zona nord venen lligats a canvis en la zona sud i viceversa. Si es mantenen els transectes de

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

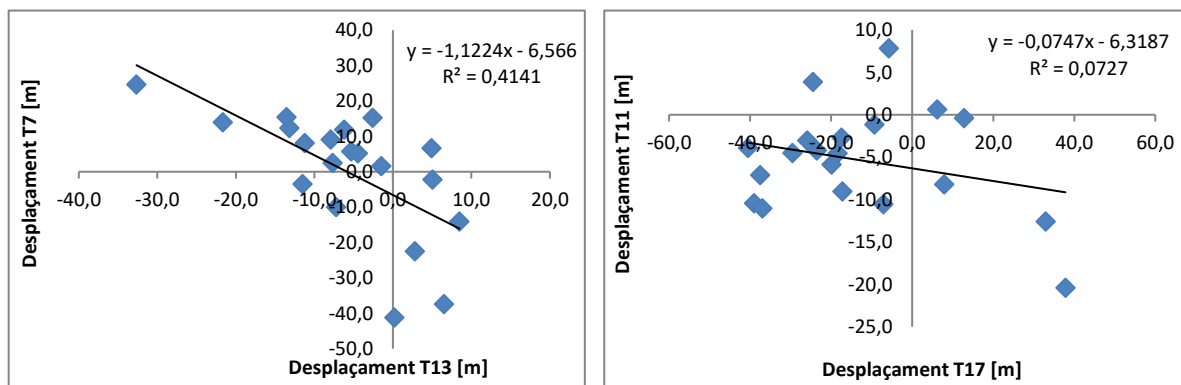
la zona sud en abscisses i es comparen amb els seus homòlegs de la zona central en ordenades, s'obté una relació directa on dependent del temporal, si una zona avança l'altra també ho farà i el mateix si retrocedeix. S'observa que per aquest cas, al estar comparant la zona sud amb la central, la relació serà més pobre quan el transecte de la zona central escollit sigui del centre-nord. Per exemple a la (Figura 32 b2), només s'explica un 22% de la variació ($R^2=0,22$). Finalment les relacions són més dèbils quan comparem les zones centre i nord amb valors de $R^2=0,41$ o $R^2=0,07$. (Figura 32 c1 i c2).



(a1, a2)



(b1, b2)



(c1, c2)

Figura 32. Relacions entre zones de la platja dos a dos. Les figures a1 i a2 relacionen nord i sud. Les b1 i b2 comparen les zones nord i centre i les c1 i c2 centre amb nord

Les línies de costa amb configuracions extremes es troben els anys 2004 (basculació cap al sud) i el 2001 i 2014 (basculacions cap al nord). Aquestes són les que dibuixen gairebé tota l'envolupant de línies de costa per al període que s'estudia. D'aquí en endavant, ens referirem a envolupant superior com a la línia que uneix les amplades màximes registrades a cada transecte i a envolupant inferior a la que uneix les amplades mínimes (veure Figura 33).

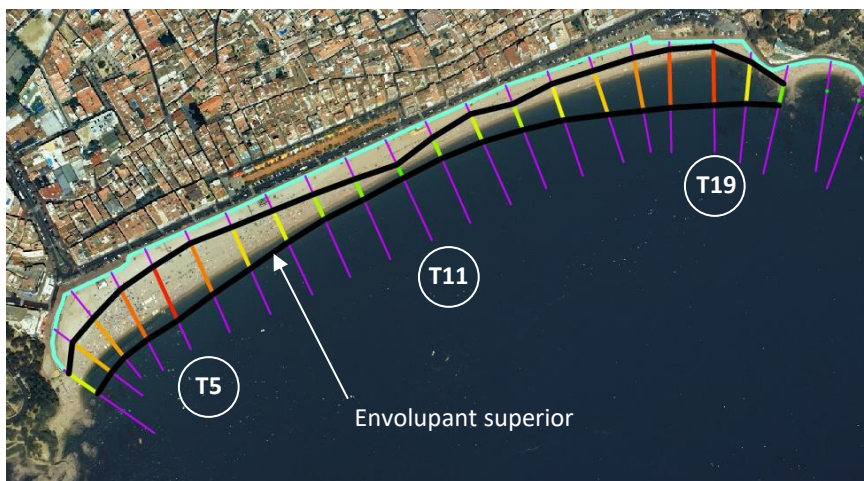


Figura 33. En negre es mostren les dues envolupants de les línies de costa corresponents al període entre 1986 i 2015. De color blau clar es dibuixa la línia base d'on surten els transectes (representats en color lila) i la distància compresa entre les dues envolupants es representa mitjançant un escalat de colors de verd a vermell segons aquesta creix

De la Taula 4 es pot observar com els transectes amb més variació corresponen a zones de la platja on la basculació juga un paper important (T5 i T19). A part, veiem que la menor variació la trobem al T11 i podem afirmar que el centre de basculació de la platja és proper a aquest punt.

TransectID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Long (m)	47,8	66,8	67,8	77,8	80,6	75,8	62,1	48,3	37,3	30,2	20,4	31,0	41,1	38,0	51,8	62,9	73,5	79,3	80,3	57,8	29,8

Taula 4. Distància entre envolupants. En vermell els transectes amb més variació i en verd amb menys

Per tancar l'anàlisi morfodinàmic de la Platja de Lloret, es mostra l'evolució de cada transecte en m/any. Pel cas de la platja de Lloret que està delimitada per una obra dura (passeig peatonal) al seu extradós, té un patró bidireccional d'onatge i es considera una cel·la tancada, aquesta ràtio no és tan útil com en una platja no encaixada que perdi sediment indefinidament. De totes maneres, és important veure com la ràtio és nul·la al transecte 8 i no pas al número 11 com seria d'intuir al haver trobat que era el transecte més proper al punt de basculació de la platja. El motiu d'això és que s'està calculant la ràtio amb la mitja aritmètica dels desplaçaments de cada transecte, llavors per aquells transectes situats a la zona central-sud de la platja que depèn de la direcció del temporal tenen avanç o retrocés suau, els signes oposats fan que al sumar-los per fer la mitja obtinguem una ràtio nul·la. Per contraposició, el transecte 11 que s'ha vist que gairebé sempre presenta retrocés, obté una ràtio directament negativa tot i ser el transecte que té la menor variància dels 21.

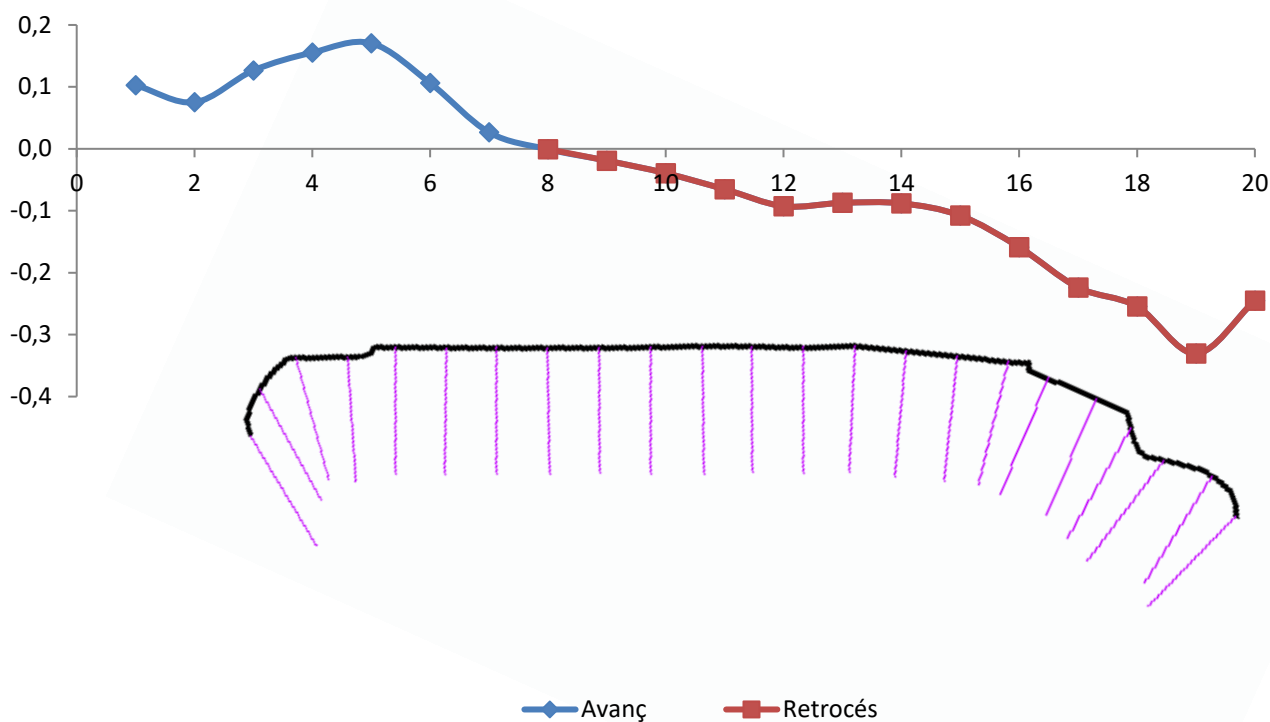


Figura 34. Ràtios en m/any d'avanç o retrocés de cada transecte

4.3 Anàlisi de l'onatge

4.3.1 Identificació dels episodis de rotació

En aquest apartat es fa ús de les dades presentades a l'apartat 4.1.2 amb l'objectiu d'identificar els episodis de rotació. Abans de començar a desenvolupar els resultats obtinguts de les sèries d'onatge, és important remarcar que s'exposaran els resultats del punt SIMAR 2118140 per la semblança amb els dels altres dos punts SIMAR (Figura 35). D'altra banda, els resultats corresponents a la boia de Palamós s'ha cregut convenient de no presentar-los a causa de la manca d'informació de direcció en alguns dels seus registres.

Es vol doncs identificar a les sèries d'onatge aquells temporals que se sàpiga segur que han causat basculació (documentats per la Regidoria de Medi Ambient de l'ajuntament). Amb aquesta informació contrastada amb les línies de costa de les ortofotos, es buscaran patrons per poder identificar altres episodis de basculació que no s'hagin documentat per part de l'ajuntament.

Per assolir tal objectiu, s'han descartat altures d'ona inferiors a dos metres i s'han analitzat les dades des de tres punts de vista diferents. Una primera aproximació on es tracta l'onatge directament amb la seva altura d'ona, un segon cas en el que s'estudien els resultats a partir de l'altura d'ona al quadrat i una tercera casuística en el que s'analitza el producte d'altura d'ona al quadrat i el període. La raó d'aquest tipus d'anàlisi és que la basculació es produeix, entre altres factors, pel transport longitudinal de sediment que és pot calcular de forma proporcional al producte d'altura d'ona al quadrat pel període (Figura 36). Aquest producte no és més que una mesura de l'energia de l'onatge.

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

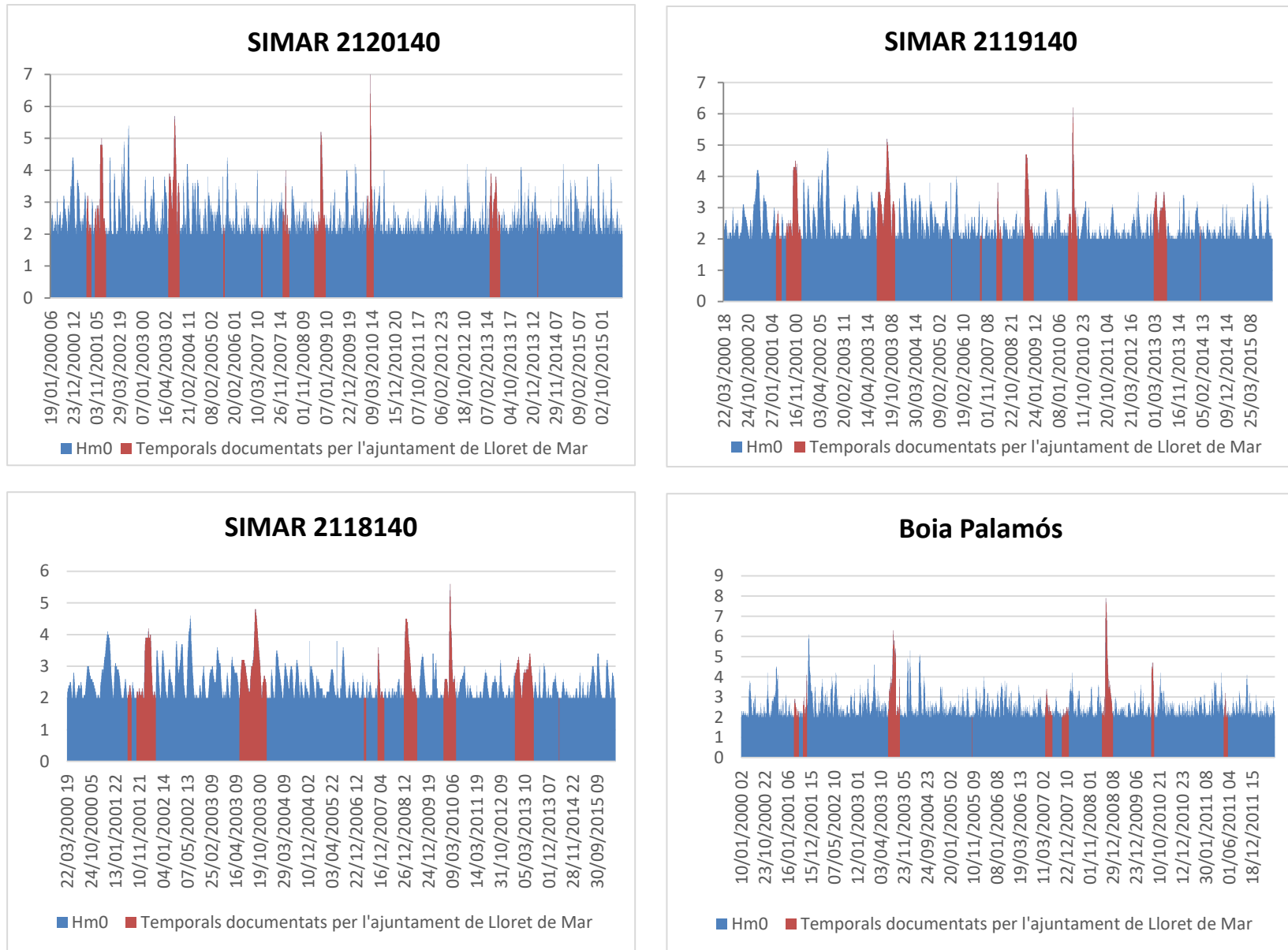


Figura 35. Resultats dels diferents punts SIMAR i la boia de Palamós. Hm0 correspon a l'altura significant espectral

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

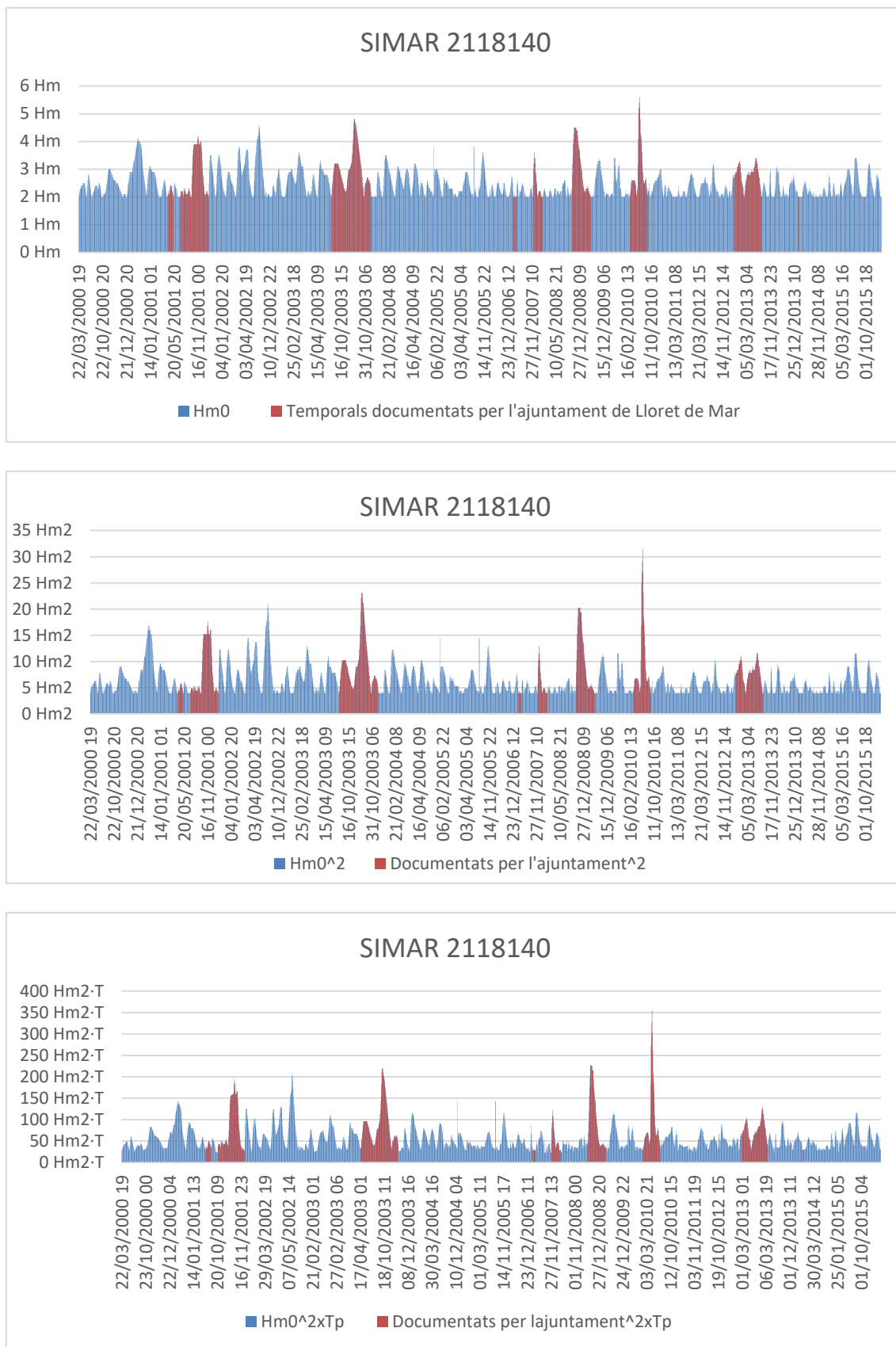


Figura 36. Anàlisi de la sèrie d'onatge del punt SIMAR 2118140. De dalt a baix: resultats comparant altura d'ona espectral, altura d'ona espectral al quadrat i finalment producte d'altura d'ona espectral al quadrat pel període pic

És fàcilment observable que els episodis documentats de basculació (marcats en vermell a la Figura 36) es desmarquen de la resta quan apliquem el criteri d'altura d'ona al quadrat multiplicada pel període. Per tant, es confirma la hipòtesi feta a priori que l'energia de l'onatge és un dels factors determinants per a que es produeixi basculació al ser la base per quantificar el transport longitudinal de sediment.

També es pot observar que per gairebé tots els casos de basculació, aquest producte ha de ser superior a $100 \text{ m}^2\text{s}$ i pot prendre valors de fins a $350 \text{ m}^2\text{s}$.

De totes maneres, fins al moment no s'ha tingut en compte la direcció de l'onatge per identificar els temporals que han causat basculació. Per incloure aquesta característica de l'onatge, s'ha calculat el vector progressiu de cada registre. Aquest vector pren com a direcció la mateixa que la del registre d'onatge (0° equival a nord i 180° a temporal de sud) i té com a mòdul una magnitud relacionada amb l'altura d'ona. Com s'ha comentat al principi d'aquest apartat, s'ha testejat amb valors pel mòdul coincidents amb l'altura d'ona espectral, aquesta mateixa al quadrat i finalment el producte del quadrat de l'altura d'ona i el període (Figura 37).

Per tant, aquest vector pot canviar de paràmetres (direcció i mòdul) de registre en registre i pot oferir un patró dels temporals que provoquen basculació.

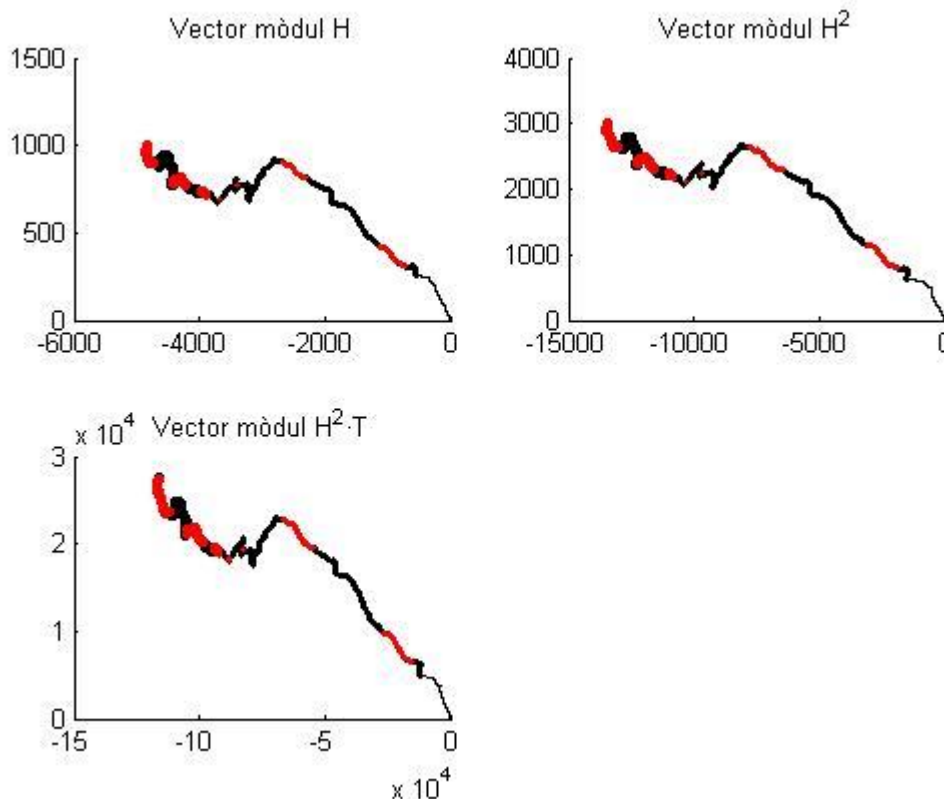


Figura 37. Vector progressiu pel punt SIMAR 2118140 i els tres criteris de mòdul comentats. De color vermell els temporals documentats per l'ajuntament que han provocat basculació

No és sorprenent que el vector progressiu extret d'un registre d'onatge proper a la platja de Lloret es situï íntegrament al quart quadrant. Com ja s'ha vingut comentat en aquesta tesina, la zona de la Costa Brava sud rep l'impacte de temporals d'entre llevant i migjorn (entre 90° i 180° respectivament) i per tant com

que sigui quin sigui el paràmetre que prenem com mòdul es tracta d'un valor positiu, aquest es situarà en el quart quadrant.

Els trams amb direccions més horitzontals corresponen a temporals de llevant, mentre que els de direccions verticals corresponen a sud. S'observa del gràfic de la Figura 37 de la part superior esquerra (mòdul de vector corresponent a l'altura d'ona espectral) que la direcció dominant final és pròxima al llevant ja que, tot i que la diferència d'escala entre eixos no deixi apreciar-ho correctament, el punt final es situa a la zona inferior esquerra del quart quadrant remarcant la influència dels llevants.

De totes maneres, no es pot extreure d'aquest vector progressiu cap patró que ens serveixi per detectar episodis de basculació no documentats. S'observa que els trams vermells de la Figura 37 que corresponen als mateixos temporals documentats a la Figura 36 no segueixen cap patró diferenciable de la resta.

A continuació es presenten els temporals que han causat basculació i han estat documentats per l'ajuntament i altres que també s'han considerat causants de basculació perquè presenten característiques energètiques similars a aquests i les ortofotos així ho confirmen.

Per saber a simple vista la procedència dels temporals, s'han dividit els registres d'onatge segons la seva direcció en dos sectors. Un primer (sector I) que correspon als temporals de llevant (entre 70° i 140°) i un segon (sector II) pels sud (entre 140° i 240°). En total es contempen uns 16 episodis de basculació.



Figura 38. De vermell els temporals que han produït basculació i han sigut documentats per l'ajuntament i de color verd els possibles episodis de basculació detectats per ortofotos i semblança d'aportació energètica de l'onatge. Procedències del primer i segon sector comprnent els rangs entre 70º i 140º, 140º i 240º respectivament

5. GESTIÓ DE LA PLATJA DE LLORET

En aquest apartat es presenten les diferents alternatives que podrien ser adoptades per a la gestió de la platja de Lloret. Primerament es detalla la que s'està duent a terme actualment que correspon a la redistribució de la pròpia sorra d'un extrem de la platja a l'altre després d'un episodi de basculació. Seguidament s'expliquen les alternatives de gestió resultants de les actuacions proposades per l'empresa Iberport Consulting, que al 2008 va ser contractada pel Servei de Costes de Girona amb l'objectiu de solucionar la problemàtica d'estabilització de la platja de Lloret.

Abans d'entrar al detall de les diferents alternatives, és important tenir clar els objectius que es pretenen assolir mitjançant una correcta gestió de la Platja Gran de Lloret. Aquests no són més que assegurar un ample mínim que permeti un ús lúdic adequat (funció recreativa) i d'altra banda, que garanteixi la protecció del litoral en episodis de tempesta.

5.1 Gestió actual

Actualment la gestió que es duu a terme a la platja de Lloret consisteix en una redistribució de sorra de la pròpia platja des de l'extrem on s'ha produït acumulació cap a l'oposat que s'ha quedat sense. Per tant, és un tipus de gestió que es fa posteriorment a l'episodi de basculació i només per atendre els serveis públics i privats que s'ofereixen a la platja durant les temporades d'estiu.

El procediment que es sol seguir comença per detectar les zones amb insuficiència d'amplada cap a on es redistribuirà la sorra sobrant un cop la temporada de tempestes hagi finalitzat (a mitjan maig). Després de redistribuir la sorra mitjançant pales i si és necessari camions, s'anivella per tal d'habilitar el muntatge de mobiliari (dutxes, passeres) i facilitar la prestació dels serveis que s'oferiran a la platja. Finalment, després d'assolir la configuració final de la platja, es reconstrueixen les rampes i els altres accessos.



Figura 40. Operacions de redistribució de sorra a la platja de Lloret (Departament de Medi Ambient de Lloret de Mar)

A part del procediment estàndard descrit al paràgraf anterior que es sol dur a terme a finals del mes de maig, es realitzen actuacions puntuals després dels grans temporals que consisteixen en l'obertura de les bocanes de les rieres, soterrament de cables que puguin haver quedat al descobert o el manteniment dels emissaris de la zona.

Aquest tipus de gestió no garanteix l'objectiu de protecció del litoral ja que no es mou sorra per dissipar l'energia de l'onatge, si no que si es fa és per tenir un ample mínim de platja destinat al turisme de la

temporada d'estiu. Per tant, pot presentar-se el cas que el passeig quedi exposat a l'acció directa de l'onatge si l'ample de la platja és petit quan el temporal impacta. Les úniques mesures que es prenen per reduir els danys materials dels temporals són la retirada del mobiliari de la platja en acabar la temporada estival, el disseny i fixació d'escales i rampes de forma paral·lela al mur del passeig, la col·locació de portes de tancament dels locals de primera línia i la fixació dels quioscos al mur del passeig i no a la sorra com es feia anteriorment.

En definitiva, ens trobem davant d'una gestió de la platja de Lloret de caire correctiu, on s'actua a posteriori dels episodis de basculació i únicament amb l'objectiu d'assegurar un ample mínim de platja al començament de la temporada d'estiu. Encara que s'apliquin algunes mesures preventives per reduir els danys materials dels temporals, la protecció del litoral queda en un segon pla i s'ha demostrat en varis temporals (2001, 2004, 2012) que el passeig es veu directament afectat per la manca d'ample de platja.

5.2 Gestió de la platja derivada de les actuacions proposades per Iberport

El projecte d'estabilització de la platja de Lloret que va realitzar l'empresa Iberport Consulting el 2008 va deixar un total de 8 propostes que intenten reduir l'efecte de la basculació. En aquest capítol s'estudien totes aquestes alternatives i s'ofereixen els seus procediments constructius que seran emprats per calcular la respectiva empremta de Carboni. És important remarcar que els processos constructius estan limitats per les partides d'obra existents a la base de dades utilitzada, en aquest cas és la BEDEC 2017.

BEDEC 2017 és un conjunt de bases de dades amb informació de productes de la construcció tal com preus, plecs de condicions, característiques tècniques, empreses, certificacions, imatges de productes i dades ambientals. Entre les bases de dades que conté, en destaquen els bancs d'ITeC (Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya) i els bancs d'entitats i empreses que faciliten la confecció de pressupostos, PPT, estudis de seguretat i salut, plans de control de qualitat i plans de gestió de residus i càlculs ambientals en fase de projecte (ITec, 2017).

Un altre aspecte a tenir en compte és que s'ha plantejat la construcció de totes les estructures des de terra i sense involucrar maquinària marítima a causa de la llunyania dels ports on realitzar el traspàs de material entre camió i gànquil.

5.2.1 Alternativa 1: Seguiment de la platja i redistribució de sorres

Aquesta consisteix en una modificació de l'alternativa que actualment porta a terme l'ajuntament i que està definida a l'apartat 4.1. Parteix de la premissa que la actuació no ha de suposar una modificació substancial de la configuració actual de la platja que aquesta és el principal recurs a preservar.

Es planteja un sistema de seguiment continu de la forma de platja en planta, de tal forma que s'asseguri un ample mínim de platja suficient per garantir les dues necessitats funcionals de la platja: de protecció i recreativa. Per saber el moment en el que s'ha d'actuar, es defineixen uns amplex mínims per la seguretat del hinterland i es requerirà actuació quan aquests mínims siguin reduïts en un 15% o més. Per tant, si els amplex mínims pels extrems estan quantificats al voltant dels 35 m, les operacions de redistribució han de començar quan la platja presenti valors inferiors a 30 m a algun dels seus dos extrems.

Es caracteritza per no necessitar aportacions de sediment i per un procediment constructiu purament terrestre mitjançant camions i pales carregadores o retroexcavadores. El volum de sorra a moure per cada actuació ronda els 20.000 m³.

5.2.2 Alternativa 2: Dic sud

Aquesta alternativa requereix d'actuacions "dures", és a dir de la construcció d'algun tipus d'obstacle físic o estructura. Concretament es planteja la construcció d'un dic orientat d'oest a est a la zona sud de la platja amb l'objectiu de retenir el material mobilitzat pels temporals de llevant i evitar la basculació dels de sud (Figura 41).

L'espigó projectat té una longitud de 150 m, un ample de coronació de 25 m a una cota +1,00 m i el morro a un calat de 11,5 m. Aquesta proposta abrigaria una zona d'uns 250 m i no requeriria d'aportació de sediment ja que l'avanç de la línia de costa en una zona (10 m com a màxim a la zona sud) es veuria compensat pel retrocés en una altra.

Pel que fa a les basculacions, només es té resolt el cas en què els temporals vinguin del sud i per la zona abrigada, mentre que els llevant (patró de temporals més freqüent de la zona) farien bascular la platja cap al sud deixant la zona nord sense sediment.

El procés constructiu d'un espigó es basa en la "Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas" (Puertos del Estado, 2008) i s'adapta al context d'estudi:

1. Transport dels materials necessaris (escullera, tot-u) des de les pedreres fins la zona de la obra. Es considera que els materials es transporten des d'una pedrera situada a uns 20 km de la obra mitjançant camions de 12 t.
2. S'aboca el nucli que es suposa format per tot-u i es col·loca mitjançant una pala carregadora. Després s'allisa amb motoanivelladora i no es compacta. També es contempla l'extensió d'aquesta capa de nucli fins la cota +0,5 per garantir el trànsit de camions.
3. Col·locació del filtre i la capa d'armadura d'escullera mitjançant medis mecànics (camions i pales).
4. Finalment es concerta l'escullera d'armadura per aconseguir talussos de projecte amb pales giratòries que s'ajuden de pinces habilitades per manipular blocs de pedra.



Figura 41. Croquis d'emplaçament de l'espigó a la zona sud (alternativa 2)

5.2.3 Alternativa 3: Dic nord

Es planteja com l'alternativa simètrica a la 2 anteriorment explicada (veure 5.2.2) amb la diferència que ara es pretén reduir l'efecte dels temporals de l'est a la basculació de la platja i evitar la pèrdua de material per l'extrem NE quan el temporal sigui de sud.

Es contempla la creació d'un espigó de 200 m de longitud, un ample de coronació de 25 m a una cota +1,00 m i el morro a un calat de 10 m. Aquesta proposta abrigaria una zona d'uns 150 m. L'efecte de la difracció dels temporals de llevant faria que el tram nord de la platja avancés uns 11 m i l'actuació necessita d'un aportació d'uns 15.000 m³ per tal de dotar a la platja d'una direcció paral·lela a la de l'onatge de llevant, arribant així a la configuració d'estabilitat final.

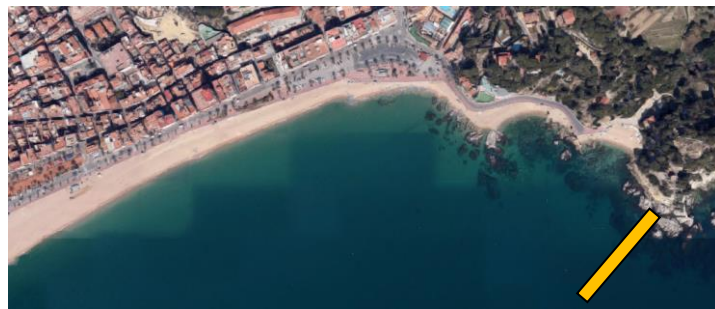


Figura 42. Croquis d'emplaçament de l'espigó a la zona nord (alternativa 3)

De totes maneres, aquesta solució no resol el problema de les basculacions completament ja que només neutralitza les produïdes pels temporals de llevant. Tot i que la majoria de temporals de la zona provenen de l'est, en cas de tenir un temporal de sud, la sorra tornaria a mobilitzar-se cap al nord i es necessitaria redistribució de sediment igualment.

El procés constructiu de l'espigó d'aquesta alternativa serà el mateix que el ja exposat per l'alternativa 2.

5.2.4 Alternativa 4: Dic transversal central

Amb la construcció d'un espigó a la zona central de la platja (Figura 43) es pretén protegir aquest tram central enfront dels dos tipus de basculacions possibles. L'objectiu principal és crear dues cel·les tals que el transport de sediment d'una i de l'altra siguin independents, aconseguint disminuir els avanços i retrocessos als extrems d'aquestes.

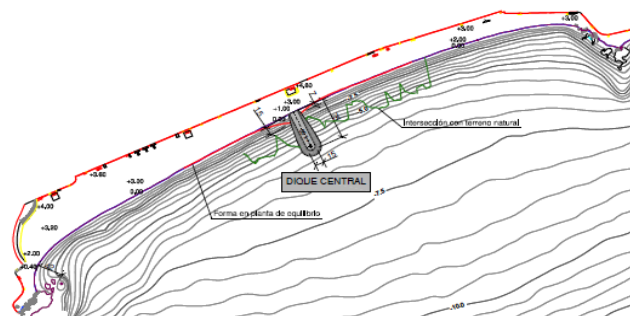


Figura 43. Configuració en planta de l'alternativa 4. En vermell s'observa la planta d'equilibri (Iberport Consulting, 2008)

Per aconseguir-ho, es projecta un espigó de 75 m de longitud situat en perpendicular a la costa i que s'estengui més enllà de la profunditat de tancament de la platja activa fins la batimètrica -6,00 aproximadament. Per completar l'actuació és necessiten 4.000 m³ d'aportació de sediment per arribar a la configuració d'equilibri final que estima un avanç de la línia de costa a les immediacions de l'espigó en uns 15 m.

A diferència de les dues primeres alternatives comentades anteriorment que reduïen directament l'energia de l'onatge incident, aquesta alternativa infereix en el transport de sediment creant una barrera que divideix el total de la platja en dos subsectors. La zona de costa protegida es redueix a 100 m al tram central de la platja. Per tant, davant episodis de basculació, s'hauria de veure si el retrocés de la platja de cada un dels subsectors excedeix l'ample mínim que garanteix la funció protectora de la platja.

El procés constructiu en aquest cas serà el mateix que l'exposat en els apartats anteriors.

5.2.5 Alternativa 5: Dos dics exempts

Amb l'objectiu d'estabilitzar gairebé la totalitat de la platja (800 m), es contempen dos dics exempts de 150 m de longitud cadascun situats a 200 m de la costa (batimètrica -8,00) i separats uns 300 m entre ells. Com es pot observar a la

Figura 44, es tracta d'una alternativa que involucra grans obres i un canvi morfològic substancial respecte la planta inicial.

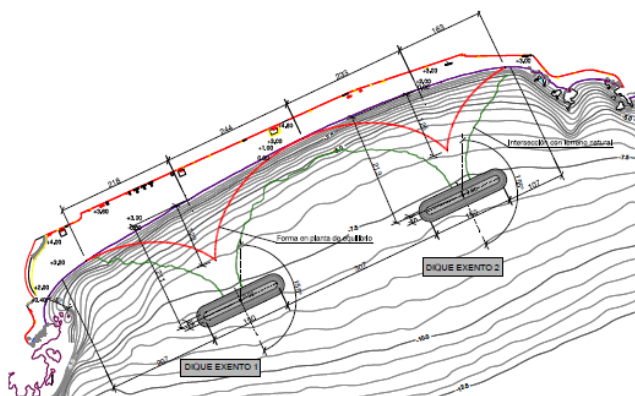


Figura 44. Configuració en planta dels dos dics exempts. En vermell la configuració d'equilibri. (Iberport Consulting, 2008)

Aquesta actuació provoca una modificació de la dinàmica litoral a l'extradós dels dics, disminuint l'acció de l'onatge i formant dues sortints d'uns 120 m dimensionades adequadament per a la no formació de tómbols.

El procés constructiu serà íntegre des de terra com es detalla a continuació:

1. Estesa de tot-u per als camins auxiliars que enllacen la platja amb la zona de construcció del dic.
2. Reforç del camí auxiliar amb escullera d'entre 3 i 4 t.

3. Estesa d'escullera d'entre 0,4 t 0,5 t del nucli del dic. S'aboca amb camions i amb l'ajut de pales s'aconsegueix la posició final. També es contempla l'extensió d'aquesta capa de nucli fins la cota +0,5 per garantir el trànsit de camions.

4. Estesa d'escullera d'entre 4 i 5 t de la capa d'armadura del dic amb pales camions i pales carregadores.

5. Finalment es concerta l'escullera d'armadura per aconseguir talussos de projecte amb pales giratòries que s'ajuden de pinces habilitades per manipular blocs de pedra.

De les alternatives que s'han presentat fins ara, aquesta és la que neutralitza l'efecte de la basculació en la totalitat de les casuístiques, tan per temporals de llevant com de migjorn. Els grans inconvenients d'aquesta solució són el volum de les obres a realitzar, l'impacte paisatgístic que provoquen aquest tipus d'obres i que es necessita una aportació de sorra d'uns 260.000 m³.

5.2.6 Alternativa 6: Dic sud amb exempt al nord

Aquesta pren com a base les obres contemplades en la segona alternativa prèviament comentada (5.2.2) millorant la protecció a la zona nord amb un dic exempt. El dic es contempla de 100 m de longitud, situat paral·lelament a la costa a una distància de 150 m i a la batimètrica -7,00 (Figura 45). El seu principal objectiu és protegir el tram de costa nord dels temporals de llevant.

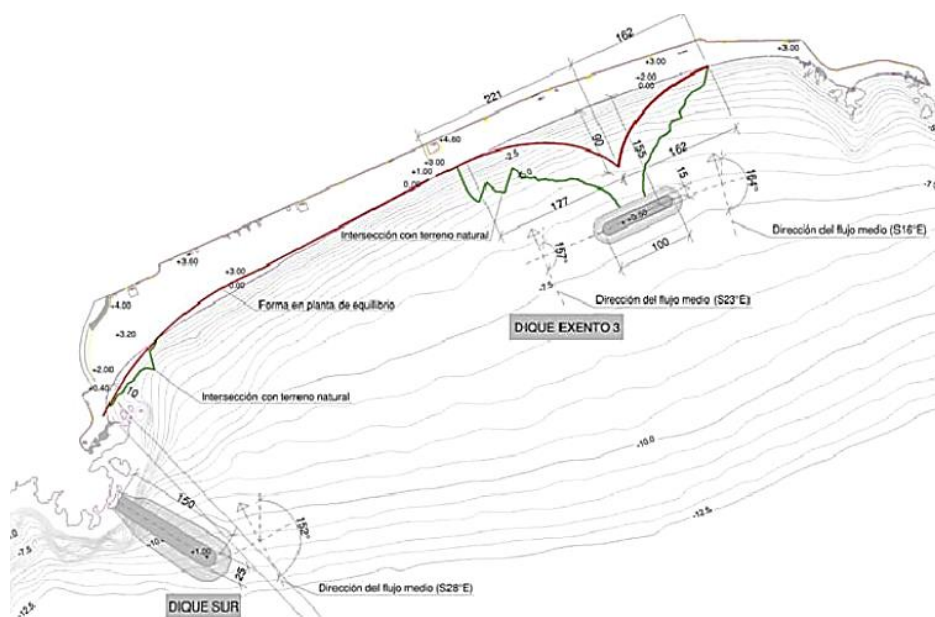


Figura 45. Vista en planta del dic exempt de l'alternativa 6 (Iberport Consulting, 2008)

El dic exempt està dimensionat amb la fi de què el sortint que es forma a la zona abrigada no creï tómbol i el procediment constructiu serà el detallat a l'alternativa 5. Llavors, si es té en compte l'espigó de la zona sud i el dic exempt del tram nord, la platja es considera abrigada en els seus extrems tant pels temporals de llevant com pels suds. Es preveu un avanç de la línia de costa màxim de 10 m i 90 m a la zona sud i al sortint nord respectivament. D'altra banda, la zona abrigada s'estén en 250 m al sud i 330 m al nord.

Hem vist doncs que aquesta alternativa contempla l'estabilització de la platja enfront de la basculació en els dos sentits mitjançant un espigó a la zona sud i un dic exempt al tram nord. De totes maneres, necessita

una aportació de 75.600 m³ a l'extradós del dic exempt per assolir la configuració d'equilibri i la zona central no està protegida a la seva totalitat.

5.2.7 Alternativa 7: Dic exempt central

Es proposa la construcció d'un dic exempt al tram central de la platja amb el principal objectiu d'alterar la dinàmica costanera d'aquesta zona. El dic exempt crearà una zona abrigada al seu extradós que farà disminuir l'energia de l'onatge incident reduint així el transport de sediments. A part, aquesta estructura dividirà en dues parts la longitud total de la platja generant basculacions independents en cada una d'elles on els retrocessos dels seus extrems seran menors.

Per aconseguir-ho es contempla un dic d'uns 75 m situat paral·lelament a la costa a una distància de 100 m i a la batimètrica -6,5 m. La longitud de costa protegida s'eleva a uns 300 m a la zona central de la platja. Tal i com s'ha vist a les anteriors alternatives, els dics exempts es dissenyen per tal que no es formi tómbol tot i que si que hi haurà un avanç de la línia de costa al seu darrere valorat en uns 55 m (Figura 46).

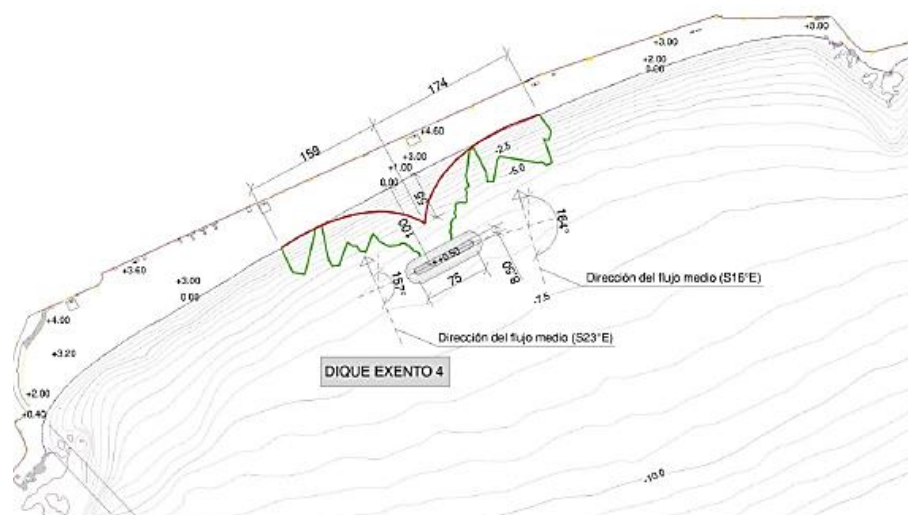


Figura 46. Esquema en planta del dic exempt de l'alternativa 7. De color vermell la forma en planta d'equilibri resultat de l'ajust de dues paràboles de Hsu & Evans. (Iberport Consulting, 2008)

El procés constructiu serà l'exposat a l'alternativa 5 per a dics exempts i es requereix d'una aportació de sediment de 24.000 m³.

Pel que fa a la basculació, s'observa un cas similar al de l'alternativa 4 on es busca crear dues cel·les amb basculacions independents amb l'objectiu que els retrocessos als seus extrems siguin menors. Es torna a plantejar la problemàtica exposada a l'apartat 5.2.4 on s'hauria de valorar si les basculacions de les dues cel·les excedeixen l'ample mínim de protecció. Com que la posició final de la línia de costa ve definida en gran part per l'angle de l'onatge incident, aquest tipus d'alternatives que estableixen la zona central de la platja seran menys efectives quan més purs siguin els temporals de llevant o migjorn. És a dir, presentaran problemes de cara a temporals amb direccions properes als 90° i 180°. D'altra banda, enfront de temporals amb direccions intermèdies (120° a 150°) funcionaran millor.

5.2.8 Alternativa 8: Dic exempt central i submergit sud

Aquesta actuació combina la construcció d'un dic exempt a la zona central de la platja tal i com s'indica a l'alternativa 7 amb la construcció d'un dic submergit a l'extrem sud de la platja. Amb el dic exempt es busca reduir l'impacte de les tempestes sobre el transport de sediment del tram central i amb el submergit es busca reduir l'efecte dels temporals junt amb l'estabilització del sector sud produint un impacte paisatgístic molt inferior al d'un dic emergit

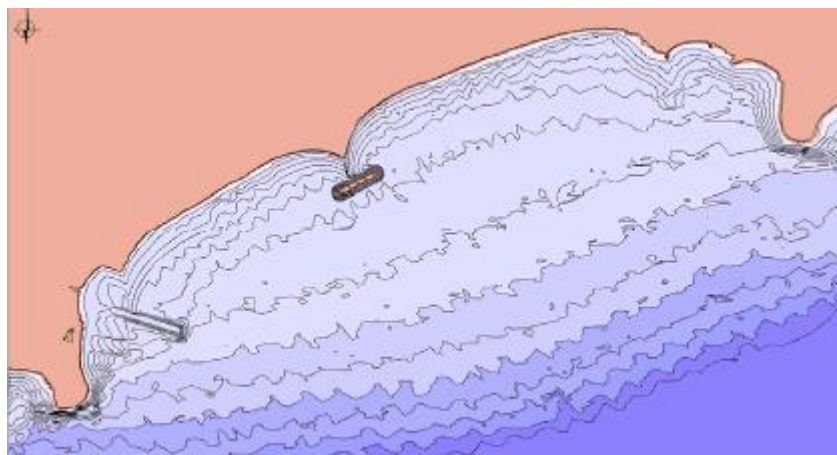


Figura 47. Planta en equilibri de la platja resultant de l'alternativa 8 (Iberport Consulting, 2008)

El dic submergit es projecta de 90 m de longitud i assoleix la seva cota més profunda a la batimètrica - 8,00. Contempla un francbord de disseny de 2 m, les dimensions d'escullera seran de 4,45 t i el seu coeficient de transmissió es situa entre 0,73 i 0,82. Per aconseguir la configuració final d'equilibri, es necessita d'una aportació de sorra d'uns 11.000 m³.

Aquesta alternativa protegeix el tram sud de la platja dels temporals provinents de sud i de l'est. Es calcula que els 300 m contigus situats a l'ombra del dic submergit estan protegits. D'altra banda, a la cel·la nord, s'hauria d'avaluar els retrocessos produïts per temporals de direccions extremes (90° i 180°).

5.3 Discussió d'alternatives

En el transcurs de l'apartat anterior s'han presentat 8 alternatives definides per Iberport Consulting (2008) amb el fi d'estabilitzar la platja de Lloret enfront de les basculacions produïdes pels dos patrons de temporal principals: de llevant i de migjorn.

Per fer front a l'actual gestió de la platja de Lloret que es basa en redistribuir el sediment després d'un gran episodi de basculació, es plantegen tan alternatives "dures" com "toves". Mentre les segones es caracteritzen per no haver de construir cap tipus d'estructura, les primeres es fonamenten en la construcció d'algun element que actuï: i) sobre l'onatge incident i canviï per tant la dinàmica litoral de la zona, ii) sobre el transport de sediment bloquejant-lo total o parcialment. El que es busca quan s'actua sobre l'onatge és reduir la seva energia i com a conseqüència la seva capacitat de transport de sediment. En canvi quan es bloqueja el transport, s'està literalment situant una barrera física que en retingui una quantitat desitjada.

En aquest apartat es discutiran les alternatives en quant a protecció enfront de la basculació, processos constructius i impacte paisatgístic (Taula 5). De totes maneres, tal i com es veurà en els següents capítols, l'objectiu de la tesina és avaluar l'empremta de carboni de cada una d'elles.

	ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 4	ALT. 5	ALT. 6	ALT. 7	ALT. 8
	Redistribució de sorra	Dic sud	Dic nord	Transv. central	2 exempts	Dic sud+exempt nord	Exempt central	Exempt central+submergit sud
Magnitud de l'obra	Reduïda	Moderada	Moderada	Reduïda	Molt elevada	Elevada	Elevada	Moderada
Volum aportació (m³)	-	-	15000	4000	260000	75600	24400	35400
Protecció de la platja davant episodis de basculació	Moderada	Baixa	Baixa	Moderada	Molt elevada	Elevada	Moderada	Elevada
Impacte paisatgístic	Nul	Elevat	Elevat	Molt elevat	Molt elevat	Elevat	Elevat	Elevat
Grau de satisfacció dels usuaris	Alt	Reduït	Reduït	Reduït	Reduït	Reduït	Moderat	Moderat

Taula 5. Comparativa d'alternatives

Tenint en compte que el principal objectiu d'actuar a la Platja Gran de Lloret és el d'estabilitzar-la en episodis de basculació, les alternatives amb baixa protecció es descartarien d'entrada. Per tant, les alternatives 2 i 3 sense combinar-les amb cap altra actuació no servien ja que podrien implicar redistribució de sediment extra al protegir només un extrem de la platja. A part, aquestes dues contemplen la construcció d'espigons que connecten amb la costa a través de zones rocoses de difícil accés per a la maquinària terrestre i precisen de construcció a grans calats (8 m). El fet de construir a gran profunditat és el principal handicap de l'alternativa 5 que contempla dos dics exempts de gran longitud (150 m cadascun) a la batimètrica -8,00 i una gran quantitat d'escullera i material d'aportació.

La alternativa 6, tot i estabilitzar gran part de la línia de costa, contempla la construcció d'un dic de retenció total al sector sud i implica un impacte paisatgístic elevat. D'altra banda, l'alternativa 7 que planteja només la construcció d'un dic exempt a la part central, compta amb tota la zona central de la costa protegida a excepció del sector sud que podria veure's afectat pels temporals de migjorn. És per això que l'alternativa escollida per Iberport en el seu dia va ser la 8, que combina els punts forts del dic exempt de la 7 amb la construcció d'un dic submergit a la zona sud que protegeix aquell tram dels temporals de migjorn sense gran impacte paisatgístic. A part, aquesta alternativa s'aprofita de l'orientació de platja i que el sortint de roques del nord (Punta des Calafats) abriga a la platja dels temporals purament de llevant. Per això ubicant un dic exempt a la zona central i un al sector sud es considera el problema de la basculació com a resolt.

De totes maneres, en els següents apartats es compararan aquestes alternatives en termes d'empremta de Carboni i es tindrà doncs un nou paràmetre a tenir en compte per a la presa de decisions sobre la gestió de la Platja de Lloret.

6. ANÀLISI DE L'EMPREMTA DE CARBONI

L'objectiu d'aquest capítol és el de quantificar, analitzar i extreure conclusions sobre l'empremta de Carboni de les diferents alternatives. Es començarà doncs introduint el concepte oferint-ne una visió històrica per posteriorment contextualitzar-lo en el marc actual, tot seguit es presentaran els resultats obtinguts i finalment s'oferiran unes conclusions que pretenen sensibilitzar al lector de la importància de la component ambiental en un projecte.

6.1 L'empremta de Carboni

6.1.1 Descripció general i context històric

L'empremta de Carboni es defineix com un paràmetre que quantifica les emissions de gasos d'efecte hivernacle (GEH) associats a una empresa, esdeveniment, activitat o cicle de vida d'un producte o servei amb l'objectiu de determinar la seva contribució al canvi climàtic. S'expressa en tones de CO₂ equivalent i recull, a part de les emissions de diòxid de Carboni, l'equivalent en CO₂ produït per algun dels altres GEH (Wiedmann i Minx, 2007).

Aquestes emissions es solen dividir en directes i indirectes. Segons FCC Construcció en el seu "Informe d'emissions de GEI" (2015), les emissions directes són aquelles que emanen de fonts que són propietat o estan controlades per l'empresa i es desglossen en emissions associades al consum de combustible a la obra i als centres fixos. D'altra banda, les emissions indirectes són aquelles derivades de l'activitat de l'organització però s'emeten a la planta on es genera l'electricitat. Per tant, inclouen les emissions de generació d'electricitat comprada per l'organització i es desglossen en emissions associades al consum d'energia elèctrica en obra, associades al consum d'energia elèctrica a centres fixos i associades al consum d'energia elèctrica de vehicles. Finalment, existeixen un altre tipus d'emissions indirectes que són conseqüència de les activitats de l'empresa però es produeixen en fonts que no són propietat ni estan controlades per l'organització. Són emissions d'aquest tercer paquet les associades a la producció i transport de materials consumits (formigó, escullera, tot-u, etc.), emissions associades a l'execució d'unitats d'obra subcontractades o les emissions associades al transport i gestió de residus de materials sobrants.

El concepte de l'empremta de Carboni va començar a gestar-se durant una cimera organitzada per la ONU a Rio de Janeiro l'any 1992. Llavors s'aprovà la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic (CMNUCC) que afirma la necessitat de reduir les emissions de GEH per assolir la fita del desenvolupament sostenible. La CMNUCC va ser ratificada per 196 estats i constitueixen les "parts" interessades que es reuneixen anualment en les anomenades conferències de les parts o COPs.

Cinc anys més tard, sota el paraigües de la CMNUCC es firmà el Protocol de Kioto; un acord internacional on els països adherits es comprometien a reduir les emissions de sis dels GEH que causen escalfament global: Diòxid de Carboni CO₂, Metà CH₄, Òxid Nitrós N₂O, Hidrofluorocarburs (HFC), Perfluorocarburs (PFC) i Hexafluorur de Sofre (SF₆). Aquesta reducció, quantificada en almenys un 5% respecte les emissions de 1990, s'acordà que es duria a terme entre els anys 2008 i 2012. Al 2009 ja eren 187 els estats que havien ratificat el protocol (un 97% aproximadament del total mundial), a excepció del màxim emissor mundial, els EUA.

Per facilitar als països la consecució dels objectius de reducció i limitació d'emissions, es varen crear varis mecanismes, entre els quals en destaca el mercat d'emissions. Aquest no és més que un mercat que

permet a governs, empreses o individus vendre o adquirir reduccions de GEH. Llavors, si un emissor genera menys emissions de les permeses, pot vendre aquestes emissions sobrants a altres entitats que per raons diverses no han aconseguit cenyir-se al límit. El preu de la tona de CO₂ del mercat SPOT a data de 26/05/2017 és de 5,19 € (SENDECO2, 2017).

Durant la celebració de la divuitena conferència de les parts (COP 18) a Doha es va acordar un segon període del Protocol de Kioto amb metes concretes entre els anys 2013 i 2020. Pel que fa a Espanya, el març de 2014 es va publicar un nou decret amb l'objectiu de complir amb els compromisos presos per la Comunitat Europea respecte a la reducció de les emissions de GEH pel 2020 (Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2014). Per assolir tal objectiu, es planteja la reducció d'emissions en un 10% respecte a les quantitats de 2005, establint una sèrie de mesures destinades a facilitar i fomentar el càlcul de l'empremta de Carboni, la seva reducció i compensació mitjançant absorcions de CO₂ per sistemes biològics.

Finalment, al desembre de 2015 es va celebrar la COP 21 a França, on per primera vegada es va aconseguir un acord universal sobre els mètodes per poder limitar l'escalfament global a menys de 2 graus centígrads el 2100 en comparació amb l'era pre industrial. Això necessita d'una reducció de les emissions de GEH entre un 40% i 70% el 2050 en comparació amb l'any 2010 i aconseguint un nivell zero el 2100.

6.1.2 Marc normatiu

La normativa existent distingeix entre l'empremta d'una organització/empresa o la d'un producte. Pel que fa a l'empremta de Carboni de les organitzacions en destaca la següent normativa:

a) ISO 14064:2012

Conjunt de normes internacionals sorgides com a resposta a la preocupació pel canvi climàtic i a la cerca de solucions per limitar les emissions de GEH a l'atmosfera. El seu principal objectiu és oferir veracitat i credibilitat als reports d'emissió de gasos. Es compon de tres parts (ISO 14064-1, 14064-2 i 14064-3) on la primera orienta a l'organització com quantificar les emissions. És a dir, ofereix un seguit de bases pel disseny, desenvolupament i gestió dels inventaris de GEH i la seva posterior presentació mitjançant informes. La segona especificació orienta a nivell de projecte com quantificar, fer el seguiment i redactar l'informe de reducció d'emissions de GEH. Finalment, la tercera ofereix eines per la validació i verificació de les declaracions sobre les emissions.

b) ISO/TR 14069:2013

"Gasos d'efecte hivernacle. Quantificació i comunicació de les emissions de GEH per les organitzacions. Guia per a l'aplicació de la norma ISO 14064-1". Aquesta norma descriu els principis, conceptes i mètodes relacionats amb la quantificació i comunicació de les emissions de GEH directes i indirectes facilitant una guia per aplicar la ISO 14064-1.

c) GHG Protocol

El "Protocol de gasos d'efecte hivernacle" creat pel *World Resources Institute* amb la col·laboració del *World Business Council for Sustainable Development*, empreses, governs i organitzacions ambientalistes d'arreu del món ofereix una metodologia extensa i eficaç per a l'obtenció de les emissions de GEH directes i indirectes.

d) PAS 2060:2010

L'“Especificació per la neutralitat del Carboni” fou publicada per *British Standards Institution (BSI)* i permet a les organitzacions assegurar que les seves declaracions sobre la neutralització de les emissions de diòxid de Carboni són correctes. Proporciona orientació sobre la manera de quantificar, reduir i compensar les emissions de GEH d'una matèria específica. És aplicable a totes les institucions que són capaces de demostrar que no produeixen un augment net d'emissió de GEH durant el desenvolupament de les seves activitats.

6.2 Quantificació de les emissions derivades de la gestió de la Platja de Lloret

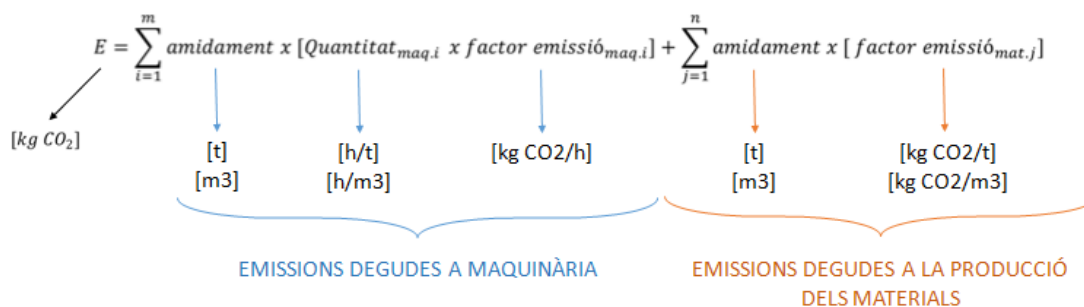
Segons Labrujere (2010), hi ha diversos procediments per quantificar les emissions en una obra. Els principals són els que es detallen a continuació:

- *Cradle-to-Gate*: es quantifiquen totes les emissions des que s'extreu el material fins que aquest surt de la fàbrica.
- *Cradle-to-Site*: es calculen les emissions des que s'extreuen les matèries primeres fins que es col·loquen al seu lloc final a l'obra.
- *Cradle-to-Grave*: consisteix a calcular les emissions segons s'ha explicat pel cas de *cradle-to-site* incloent les emissions derivades de la demolició i trasllat del material d'obra a l'abocador. En aquest cas es té en compte tant la construcció com la demolició.
- *Cradle-to-Cradle*: Aquesta metodologia contempla totes les explicades anteriorment i afegeix també les derivades del procés de reciclatge de tots els elements que s'han usat a la construcció de les estructures.

S'ha adoptat la metodologia *Cradle-to-Site* per a quantificar les emissions de les diferents alternatives de gestió de la Platja de Lloret. Llavors, per a totes les alternatives es contemplen les emissions derivades de l'obtenció dels materials, el seu transport a la obra així com la col·locació d'aquests al seu lloc definitiu.

Abans de començar a presentar els resultats específics de cada alternativa, es farà una breu explicació de les hipòtesis i procediments adoptats. Per obtenir les emissions en kg CO₂ s'ha fet ús del mòdul ambiental que ofereix el programa Temps Cost Qualitat (TCQ). Aquest obté les emissions separant les produïdes per la maquinària de les degudes a la producció dels materials segons s'explica a la Figura 48.

$$E = \sum_{i=1}^m \text{amidament} \times [\text{Quantitat}_{\text{maq},i} \times \text{factor emissió}_{\text{maq},i}] + \sum_{j=1}^n \text{amidament} \times [\text{factor emissió}_{\text{mat},j}]$$



EMISSIONS DEGUDES A MAQUINÀRIA
EMISSIONS DEGUDES A LA PRODUCCIÓ DELS MATERIALS

Figura 48. Esquema del càlcul de les emissions segons TCQ

Vegem doncs que els principals factors que caracteritzen les emissions són:

i) Els amidaments: corresponen a la quantitat de material en tones o metres cúbics de cada una de les partides que componen les diferents actuacions. Com ja s'ha comentat durant la definició de les alternatives, els amidaments s'han obtingut a partir de la regla del trapezi fent la semisuma de les àrees dels extrems del volum buscat i multiplicant-la per la longitud d'aquest. En el cas en que intervingui la batimetria, aquesta s'ha suposat amb pendent constant d'un 8% seguint les indicacions exposades per Iberport Consulting (2008).

ii) La quantitat de maquinària: correspon al temps en hores d'un element de maquinària específic necessari per a moure una unitat de volum (t o m^3) de material. Aquest valor s'ha pres de la base de dades BEDEC de la qual es nodreix el TCQ. Aquesta base de dades està formada principalment per materials, maquinària, mà d'obra i partides existents.

iii) El factor d'emissió: és un paràmetre específic de cada tipus de màquina o material i les seves unitats poden ser $kg\ CO_2/h$ si ens referim a les emissions degudes a la maquinària o $kg\ CO_2/m^3$ i $kg\ CO_2/t$ si el que estem és calculant les emissions degudes a la producció dels materials. Aquest paràmetre també s'obté del banc de dades BEDEC que ahora es basa en estudis de l'Institut Català de l'Energia (ICAEN), els departaments de Construcció Arquitectònica I i II de la UPC i el Centre Tecnològic de la Construcció (iMat).

Per a totes les actuacions que requereixen material d'aportació per arribar a la configuració d'equilibri final, es suposa que aquesta prové de dragat i abocament i extensió amb pales des de la platja. Com ja es veurà al resum d'emissions, dragar és més sostenible en termes de CO_2 que portar el material amb camions des de pedrera. A part, econòmicament parlant, el material no s'ha de pagar a preu de pedrera.

En els resultats que es presenten a continuació, s'han separat les emissions en maquinària marítima, maquinària terrestre emprada al lloc de l'obra, degudes a la producció dels materials i degudes al transport terrestre fins a l'obra. A les justificacions de les partides que s'ofereixen per a cada alternativa, no hi apareix el transport terrestre de materials fins a l'obra, tot i que si que s'ha tingut en compte amb camions de transport de 12 t i a una distància de pedrera de fins a 20 km. S'ha considerat que els camions eren de 12 t ja que estan perfectament tipificats dins el banc de dades BEDEC. Tampoc hi apareix el dragat que s'ha considerat a una fondària de fins a 15 m amb draga de succió autopropulsada de 30 cm de diàmetre i abocament directe a la platja per poder fer l'estesa amb pales.

6.2.1 Alternativa 1: Seguiment de la platja i redistribució de sorres

Aquesta alternativa correspon a la redistribució de sorra de la mateixa platja mitjançant camions i pales carregadores (Taula 6). Llavors, l'emissió serà causada íntegrament per maquinària terrestre emprada al lloc de l'obra, és a dir la produïda per pales i camions.

REDISTRIBUCIÓ SORRA PLATJA <5km							
CODI	U.A	Descripció	Preu	Amidament / quantitat	Imports [€]	Factor emissió	kg CO ₂ /m ³ o t
G242206A	m3	Redistribució de material de la pròpia platja	3,12	20000	62456		
C13124C0	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 31-40t	146,53	0,0069	1,01	297,28	2,05
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
					3,12		12,64
					62.456 €		

Taula 6. Justificació de partides de l'alternativa 1

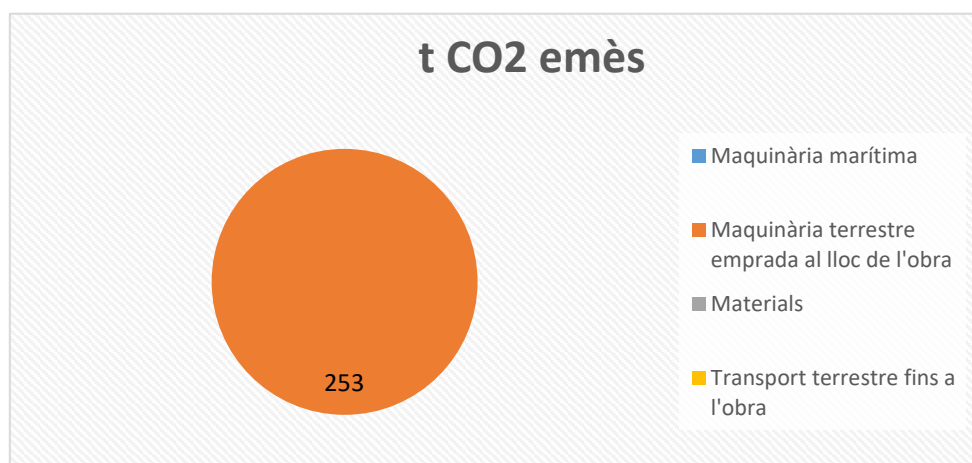


Figura 49. Emissió de CO₂ en tones corresponent a l'alternativa 1

Redistribuir 20.000 m³ costa uns 62.500€ i s'emeten 253 tones de CO₂. De totes maneres, es veurà a continuació que aquesta dada no és vàlida a l'hora de comparar alternatives per què correspon a un sol episodi de redistribució mentre que les estructures que componen els altres tipus de gestió estan projectades per una vida útil mínima de 25 anys.

6.2.2 Alternativa 2: Dic sud

El dic que es contempla a la zona sud, igual que tots els que es proposen en aquesta tesina, es construeix des de terra fet que involucra la confecció de camins auxiliars i un augment en les emissions degudes al moviment de terres.

CODI	U.A	Descripció	Preu	Amidament / quantitat	Imports [€]	Factor emissió	kg CO ₂ /m ³ o t
ESPIGÓ ALTERNATIVA 2							
<u>Construcció des de terra</u>							
G226J210	m3	Estesa de tot-u	23,37	43743,6	1022287,932		
A0140000	h	Manobre	18,80	0,036	0,68		
B0371000	m3	Tot-u nat.	17,89	1,2	21,47	12,8	15,36
C1311440	h	Pala carregadora s/pneumàtics 15-20t	86,18	0,006	0,52	287,74	1,73
C1331200	h	Motoanivelladora mitjana	62,96	0,007	0,44	236,87	1,66
					23,37		18,74

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

G3J41610	t	Escullera marítima blocs pedra	17,36	52481,52	911079,19		
A0121000	h	Oficial 1a	22,37	0,017	0,38		
B0441600	t	Bloc pedr.escull.pedra granit.1200-4000 kg	14	1	14	20	20
C13113C0	h	Pala carregadora s/caden. 18-25t	118,58	0,0251	2,98	311,58	7,82
					17,36		27,82
G3JAD100	m3	Concertat escullera	9,19	29156,4	267947,31		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,04	0,75		
C13124C7	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 31-40t,+pinça manip.pedra	159,56	0,0528	8,42	297,28	15,7
					9,19		15,7
TA81	t	Escullera 3-4 t per reforç de camí auxiliar	20,46	986,56	20183,90		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,18
B0442900	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.1200-4000 kg	13,97	1	13,97	20	20
					20,46		46,48
TA77	m3	Tot-u per camins d'accés auxiliars	15,80	1793,75	28340,23		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
B037R000	m3	Tot-u art.procedent granulats reciclats form.	8,1	1	8,1	11,2	11,2
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1335080	h	Corró vibratori autopropulsat,8-10t	50,44	0,024	1,21	127,18	3,05
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
					15,80		40,73
						2.249.839 €	

Taula 7. Justificació de partides de l'alternativa 2

S'observa de la Taula 7 com l'element de maquinària amb el factor d'emissió més alt coincideix amb la pala carregadora de 18-25 t amb un valor de 311,58 kg CO₂/h de funcionament. D'altra banda, una tona d'escullera de 3-4 t emet 20 kg CO₂/h i un metre cúbic de tot-u entre 11 i 13 kg CO₂/m³ depenent de si és material reciclat pels camins auxiliars o natural per a nucli de l'espigó.

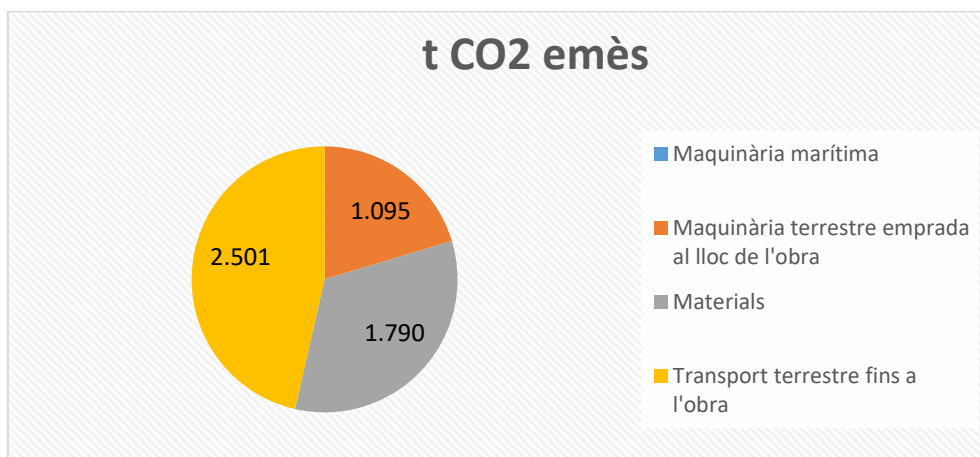


Figura 50. Emissió de CO₂ en tones corresponent a l'alternativa 2

Notem com en aquest cas tampoc intervé maquinària marítima ja que no es necessita material d'aportació per arribar a la configuració en planta d'equilibri final (no hi ha dragat). El major emissor es tracta del transport terrestre fins a l'obra, és a dir dels camions que es necessiten per transportar tot el material d'escullera i tot-u tant per l'espigó de projecte com pels camins auxiliars. S'ha tingut en compte una aportació d'uns 4.500 m³ de sorra pel fet d'estar a una zona de difícil accés.

L'emissió total és de 5.386 t CO₂ amb un cost monetari de 2.249.839 € és la quarta alternativa més cara tant en termes monetaris com d'emissions.

6.2.3 Alternativa 3: Dic nord

Aquesta alternativa és molt semblant a la segona comentada anteriorment però amb el dic a l'extrem oposat de la platja. Tal i com s'ha explicat en 6.2.2, al ser una zona de difícil accés, s'ha tingut en compte una aportació de sorra de 4.500 m³ per la connexió amb la maquinària.

CODI	U.A	Descripció	Preu	Amidament / quantitat	Imports [€]	Factor emissió	kg CO ₂ /m ³ o t
ESPIGÓ ALTERNATIVA 3							
<u>Construcció des de terra</u>							
G226J210	m3	Estesa de tot-u	23,37	45870	1071981,9		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,036	0,68		
B0371000	m3	Tot-u nat.	17,89	1,2	21,47	12,8	15,36
C1311440	h	Pala carregadora s/pneumàtics 15-20t	86,18	0,006	0,52	287,74	1,726
C1331200	h	Motoanivelladora mitjana	62,96	0,007	0,44	236,87	1,66
					23,37		18,74
G3J41610	t	Escullera marítima blocs pedra	17,36	55044	955563,84		
A0121000	h	Oficial 1a	22,37	0,017	0,38		
B0441600	t	Bloc pedr.escull.pedra granit. 1200-4000 kg	14	1	14	20	20
C13113C0	h	Pala carregadora s/caden. 18-25t	118,58	0,0251	2,98	311,58	7,82
					17,36		27,82

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

G3JAD100	m3	Concertat escullera	9,19	30580	281030,2		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,04	0,75		
C13124C7	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 31-40t,+pinça manip.pedra	159,56	0,0528	8,42	297,28	15,70
					9,19		15,70
TA81	t	Escullera 3-4 t per reforç de camí auxiliar	20,46	986,56	20183,90		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1501800	h	Camión transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
B0442900	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.1200-4000 kg	13,97	1	13,97	20	20
					20,46		46,48
TA77	m3	Tot-u per camins d'accés auxiliars	15,79	1793,75	28340,23		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
B037R000	m3	Tot-u art.procedent granulats reciclats form.	8,1	1	8,1	11,2	11,2
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1335080	h	Corró vibratori autopropulsat,8-10t	50,44	0,024	1,21	127,18	3,05
C1501800	h	Camión transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
					15,79		40,73

2.357.100 €

Taula 8. Justificació de partides de l'alternativa 3

En seguir el mateix procediment constructiu des de terra, la justificació de partides de les alternatives 2 i 3 tenen la mateixa estructura amb la diferència dels amidaments essent una mica superiors els de la tercera al treballar a calats una mica més grans i ser uns metres més llarg.

Llavors, també s'esperen uns valors d'emissió similars amb el tret diferencial de què en aquest cas si que hi ha dragat de sorra d'aportació com es veu reflectit a la Figura 51.

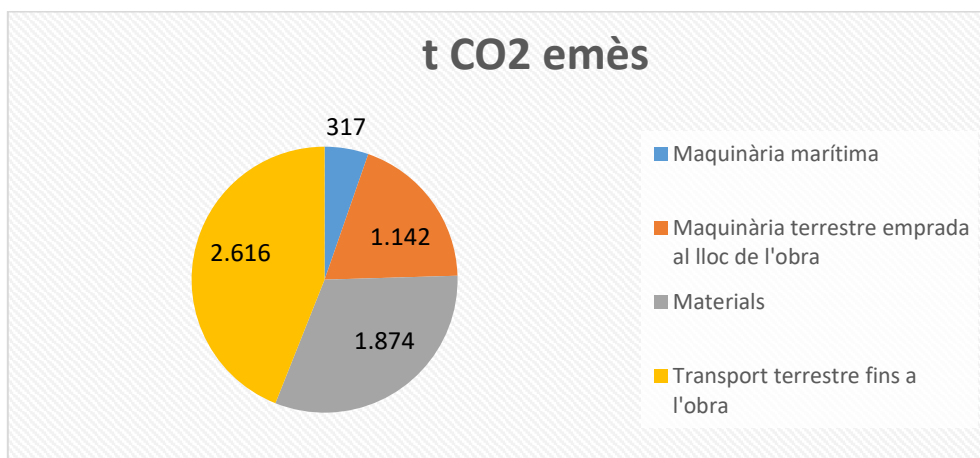


Figura 51. Emissió de CO₂ en tones corresponent a l'alternativa 3

En total, s'emeten 5.949 t de CO₂ amb una major presència d'emissions derivades del transport terrestre fins a l'obra i una petita aportació de les dragues usades per extreure el material d'aportació. En termes monetaris, aquesta alternativa costaria uns 2.418.300 € sent la tercera alternativa més cara.

6.2.4 Alternativa 4: Dic transversal central

La singularitat d'aquest espigó és que al trobar-se a la zona central de la platja no requereix de grans aportacions per la posta a punt dels accessos a la zona d'obra. A part, al ser una mica més curt que els presentats a les alternatives segona i tercera i treballar a menors calats, induirà una disminució de les emissions i el preu de l'obra.

De totes maneres, el procediment constructiu és el mateix que per les altres dues alternatives anteriors que contemplen espigons, és a dir íntegrament des de terra, amb dragat del material d'aportació per arribar a la configuració d'equilibri final però sense camins auxiliars.

CODI	U.A	Descripció	Preu	Amidament / quantitat	Imports [€]	Factor emissió	kg CO ₂ /m ³ o t
ESPIGÓ ALTERNATIVA 4							
G3J41G10	t	Escullera marítima blocs	15,14	8241,5	124804,08		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,011	0,24761		
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11176	189,18	10,59
B0441G00	t	Bloc pedr.escull.pedra granit.s/classif.	10,99	1	10,99	20	20
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,025	1,794	176,46	4,41
					15,14337		24,41
G226J210	m3	Estesa de tot-u	25,21	5596,25	141105,86		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,036	0,68		
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
B0371000	m3	Tot-u nat.	17,89	1,2	21,47	12,8	15,36
C1311440	h	Pala carregadora s/pneumàtics 15-20t	86,18	0,006	0,52	287,74	1,73
C1331200	h	Motoanivelladora mitjana	62,96	0,007	0,44	236,87	1,66
					25,21		18,74
G3JAD100	m3	Concertat escullera	9,19	4579	42081,01		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,04	0,75		
C13124C7	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 31-40t,+pinça manip.pedra	159,56	0,0528	8,428	297,28	15,70
					9,19		15,70
					307.991 €		

Taula 9. Justificació de partides de l'alternativa 4

Amb un total de 791 t de diòxid de Carboni d'emissions i 308.000€ de cost total, constitueix l'alternativa normalitzada més barata en termes d'emissions i de cost monetari. De totes maneres, és una alternativa que canvia la configuració de la platja en planta i té un impacte paisatgístic alt.

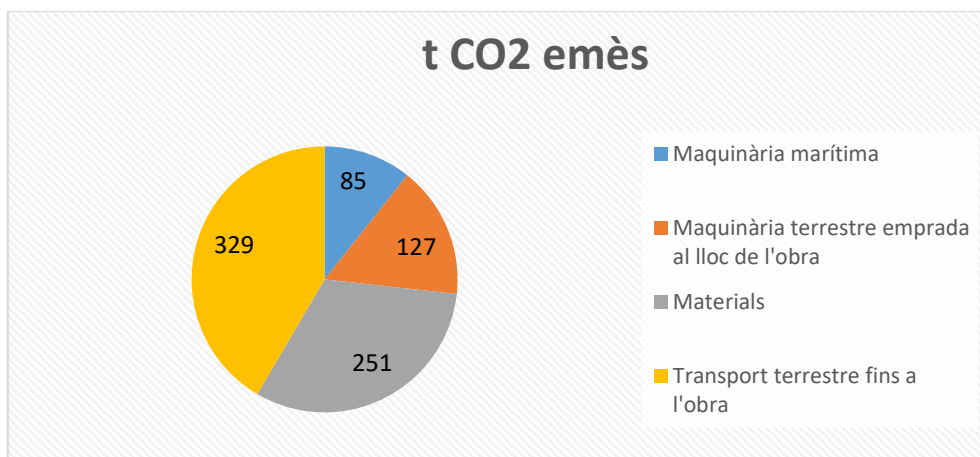


Figura 52. Emissió de CO₂ en tones corresponent a l'alternativa 4

De la Figura 52 es torna a fer evident com el transport terrestre fins a l'obra és el principal emissor seguit per la producció dels materials. Vegem com per aquesta alternativa s'ha baixat un ordre de magnitud de les emissions totals passant de milers de tones a centenars. Els principals focus d'aquesta gran baixada ha estat el fet de construir a calats baixos que implica menys volum de material de les estructures i en una zona de fàcil accés per la maquinària.

6.2.5 Alternativa 5: Dos dics exempts

Abans de presentar els resultats i només tenint en compte la brutalitat que a priori suposa la construcció de dos dics exempts de 150 m cadascun, a una distància de la línia de costa de 200 metres i a la batimètrica -8,00, és evident suposar que serà l'alternativa de major cost i majors emissions de les 8 que es contemplen en aquesta tesina.

El procediment constructiu serà íntegre des de terra amb l'ajuda de camins auxiliars tal com s'ha explicat en apartats anteriors.

CODI	U.A	Descripció	Preu	Amidament / quantitat	Imports [€]	Factor emissió	kg CO ₂ /m ³ o t
DICS EXEMPTS ALTERNATIVA 5							
<u>Construcció des de terra</u>							
G226J210	t	Estesa escullera nucli dic exempt	16,11	69984	1127137,11		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,036	0,68		
B0442700	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.400-800 kg	12,8	1	12,8	20	20
C1311440	h	Pala carregadora s/pneumàtics 15-20t	86,18	0,006	0,52	287,74	1,73
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
					16,11		32,32
G3J41610	t	Estesa escullera armadura dic exempt	19,73	46656	920448,60		
A0121000	h	Oficial 1a	22,37	0,017	0,38		
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
B0442A00	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.4000-6000 kg	14,26	1	14,26	20	20

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

C13113C0	h	Pala carregadora s/caden. 18-25t	118,58	0,0251	2,98	311,58	7,82
					19,73		38,41
G3JAD100	m3	Concertat escullera	9,19	25920	238204,8		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,04	0,75		
C13124C7	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 31-40t,+pinça manip.pedra	159,56	0,0528	8,42	297,28	15,70
					9,18		15,70
TA81	t	Escullera 3-4 t per reforç de camí auxiliar	20,46	8298,125	169770,26		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
B0442900	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.1200-4000 kg	13,97	1	13,97	20	20
					20,46		46,48
TA77	m3	Tot-u per camins d'accés auxiliars	15,8	15087,5	238373,90		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
B037R000	m3	Tot-u art.procedent granulats reciclats form.	8,1	1	8,1	11,2	11,2
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1335080	h	Corró vibratori autopropulsat,8-10t	50,44	0,024	1,21	127,18	3,05
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
					15,8		40,73
2.693.935 €							

Taula 10. Justificació de partides de l'alternativa 5

De la Figura 53, s'observa com el patró d'emissions ha canviat deixant la posició de major emissor a la maquinària marítima amb unes 5.500 t. Això ha succeït a causa del gran volum de sorra d'aportació que es contempla per aquesta alternativa. El canvi morfològic en planta és tan gran que es preveu una aportació de 260.000 m³, xifra que supera en un ordre de magnitud les aportacions contemplades per a la resta d'alternatives. Amb l'excepció de la primera posició d'emissor, la resta es manté tal com ha passat en les anteriors alternatives.

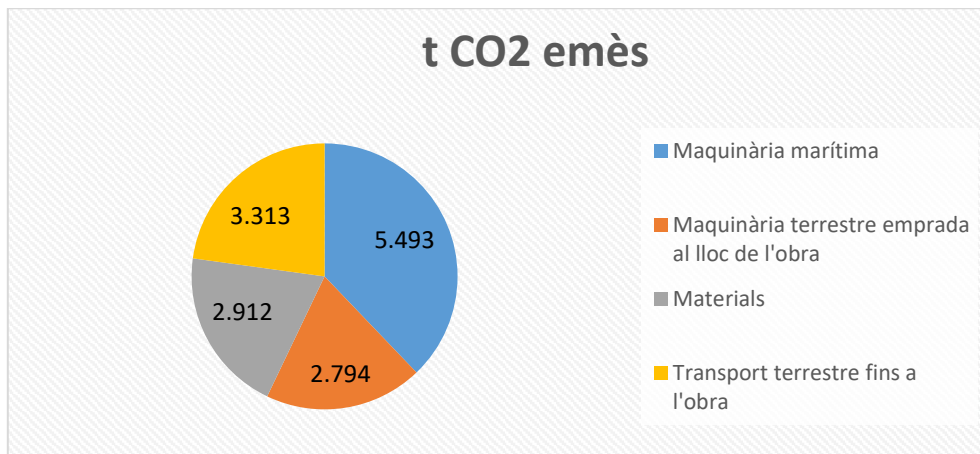


Figura 53. Emissió de CO₂ en tones corresponent a l'alternativa 5

En total, s'emeten 14.512 t de CO₂ amb un cost monetari d'uns 2,7 M€. És l'alternativa que més emet superant en un o inclús dos ordres de magnitud la resta d'alternatives. El factor diferencial d'aquesta alternativa és la gran quantitat de material d'aportació que si s'hagués de subministrar tot de pedrera costaria gairebé el doble de diners.

6.2.6 Alternativa 6: Dic sud amb exempt al nord

Aquesta alternativa combina el dic sud presentat a l'alternativa 2 amb un altre d'exempt al nord que estabilitzi aquell tram de costa.

CODI	U.A	Descripció	Preu	Amidament / quantitat	Imports [€]	Factor emissió	kg CO ₂ /m ³ o t
DIC EXEMPT NORD ALTERNATIVA 6							
<u>Construcció des de terra</u>							
G226J210	t	Estesa escullera nucli dic exempt	16,11	21263,04	342454,87		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,036	0,68		
B0442700	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.400-800 kg	12,8	1	12,8	20	20
C1311440	h	Pala carregadora s/pneumàtics 15-20t	86,18	0,006	0,52	287,74	1,73
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
					16,11		32,32
G3J41610	t	Estesa escullera armadura dic exempt	19,73	14175,36	279657,29		
A0121000	h	Oficial 1a	22,37	0,017	0,38		
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
B0442A00	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.4000-6000 kg	14,26	1	14,26	20	20
C13113C0	h	Pala carregadora s/caden. 18-25t	118,58	0,0251	2,98	311,58	7,82
					19,73		38,41
G3JAD100	m3	Concertat escullera	9,19	7875,2	72373,09		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,04	0,75		
C13124C7	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 31-40t,+pinça manip.pedra	159,56	0,0528	8,42	297,28	15,70

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

						9,18	15,70
TA81	t	Escullera 3-4 t per reforç de camí auxiliar	20,46	5027,34	102853,7		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
B0442900	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.1200-4000 kg	13,97	1	13,97	20	20
					20,46		46,48
TA77	m3	Tot-u per camins d'accés auxiliars	15,8	9141,63	144432,46		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
B037R000	m3	Tot-u art.procedent granulats reciclats form.	8,1	1	8,1	11,2	11,2
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1335080	h	Corró vibratori autopropulsat,8-10t	50,44	0,024	1,21	127,18	3,05
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
					15,8		40,73
						941.771 €	

Taula 11. Justificació de partides de l'alternativa 6

La Taula 11 ofereix el desglossament de les partides relacionades només amb la construcció del dic exempt del nord, deixant el del dic del sud a l'apartat 6.2.2. A continuació es mostra la distribució d'emissions per tipologia d'emissors i en aquest gràfic sí que s'han afegit les emissions derivades de la construcció del dic sud.

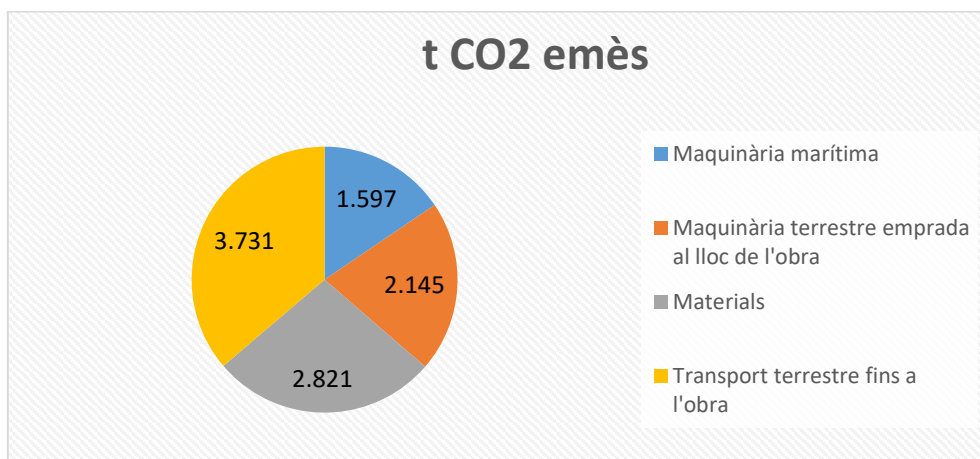


Figura 54. Emissió de CO₂ en tones corresponent a l'alternativa 6

Aquesta és la primera alternativa que combina dos tipus d'estructures diferents. Fins ara, totes les alternatives presentades comptaven amb un sol tipus d'estructura determinat fet que provocava una distribució d'emissions característica i amb uns patrons que es podien extrapolar a altres alternatives que contemplaven el mateix tipus d'estructures.

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

La principal font d'emissió es troba ara en el transport terrestre fins al lloc de l'obra seguida de la derivada de la producció dels materials. El total d'emissions de diòxid de Carboni ascendeix a la xifra de 10.294t de les quals 2.000 t són procedents de la construcció del dic exempt. És la segona alternativa que més emet del total de les 8 i també és la segona alternativa més cara 3.5M €. La contribució al preu total del dic exempt ronda el milió d'euros.

6.2.7 Alternativa 7: Dic exempt central

Es contempla la construcció d'un dic exempt a la zona central de la platja entre la batimètrica -6 i -7. S'espera una distribució d'emissions semblants a la de l'alternativa 5.

CODI	U.A	Descripció	Preu	Amidament / quantitat	Imports [€]	Factor emissió	kg CO ₂ /m ³ o t
DIC EXEMPT ALTERNATIVA 7							
Construcció des de terra							
G226J210	t	Estesa escullera nucli dic exempt	16,11	10773	173506,06		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,036	0,68		
B0442700	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.400-800 kg	12,8	1	12,8	20	20
C1311440	h	Pala carregadora s/pneumàtics 15-20t	86,18	0,006	0,52	287,74	1,73
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
					16,11		32,32
G3J41610	t	Estesa escullera armadura dic exempt	19,73	7182	141689,43		
A0121000	h	Oficial 1a	22,37	0,017	0,38		
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
B0442A00	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.4000-6000 kg	14,26	1	14,26	20	20
C13113C0	h	Pala carregadora s/caden. 18-25t	118,58	0,0251	2,98	311,58	7,82
					19,73		38,41
G3JAD100	m3	Concertat escullera	9,19	3990	36668,1		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,04	0,752		
C13124C7	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 31-40t,+pinça manip.pedra	159,56	0,0528	8,424768	297,28	15,696384
					9,176768		15,696384
TA81	t	Escullera 3-4 t per reforç de camí auxiliar	20,46	2983,75	61044,15		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
B0442900	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.1200-4000 kg	13,97	1	13,97	20	20
					20,46		46,48
TA77	m3	Tot-u per camins d'accés auxiliars	15,8	5425	85711,90775		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

B037R000	m3	Tot-u art.procedent granulats reciclats form.	8,1	1	8,1	11,2	11,2
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1335080	h	Corró vibratori autopropulsat,8-10t	50,44	0,024	1,21	127,18	3,05
C1501800	h	Camió transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
					15,8		40,73
					498.620 €		

Taula 12. Justificació de partides de l'alternativa 7

Vegem com el preu total d'aquesta alternativa ronda el mig milió d'euros sent la sisena alternativa més cara. Es tracta d'una alternativa barata ja que es contempla un dic relativament curt (75 m) en comparació amb els altres que superen els 100 m.

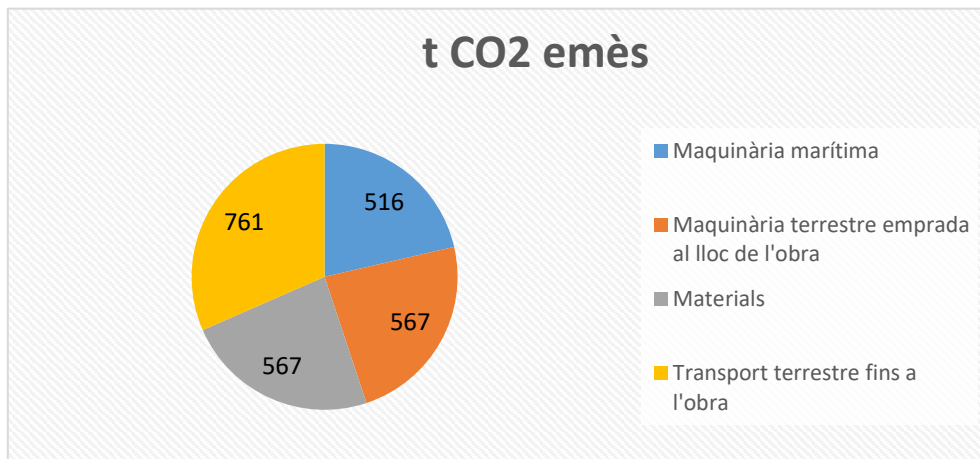


Figura 55. Emissió de CO₂ en tones corresponent a l'alternativa 7

Referent a les emissions, vegem que el transport terrestre fins a l'obra torna a agafar protagonisme seguit de les emissions degudes a la producció dels materials i de la maquinària terrestre al lloc de l'obra. Aquesta ordenació difereix del que s'havia vist a l'alternativa 5 (veure 5.2.5) on la maquinària marítima era la principal emissora de diòxid de Carboni. El fet és que per a aquella actuació en concret es preveia una aportació de sorra provinent de dragat d'uns 260.000 m³ mentre que en aquesta alternativa aquesta xifra és de 24.000 m³. Aproximadament deu vegades menys, valor que concorda amb el de les emissions provinents de la maquinària marítima que són unes deu vegades menors.

6.2.8 Alternativa 8: Dic exempt central i submergit sud

Aquesta alternativa afegeix un dic submergit sud a l'exempt de la zona central de l'alternativa 7. A la justificació (Taula 13) només apareixen les dades corresponents al dic submergit, mentre que al gràfic circular de la Figura 56 sí que s'han tingut en compte els resultats del dic exempt més els del dic submergit.

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

CODI	U.A	Descripció	Preu	Amidament / quantitat	Imports [€]	Factor emissió	kg CO ₂ /m ³ o t
DIC SUBMERGIT ALTERNATIVA 8							
<u>Construcció des de terra</u>							
G3J41611	t	Estesa escullera dic submergit	19,73	12060	237924,60		
A0121000	h	Oficial 1a	22,37	0,017	0,38		
C1501800	h	Camión transp.12 t	37,71	0,056	2,11	189,18	10,59
B0442A00	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.4000-6000 kg	14,26	1	14,26	20	20
C13113C0	h	Pala carregadora s/caden. 18-25t	118,58	0,0251	2,98	311,58	7,82
					19,73		38,41
G3JAD100	m3	Concertat escullera	9,19	6700	61573		
A0140000	h	Manobre	18,8	0,04	0,75		
C13124C7	h	Pala excavadora giratoria s/caden. 31-40t,+pinça manip.pedra	159,56	0,0528	8,42	297,28	15,70
					9,19		15,70
TA81	t	Escullera 3-4 t per reforç de camí auxiliar	20,46	783,75	16034,64		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11		
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1501800	h	Camión transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
B0442900	t	Bloc pedr.escull.pedra calc.1200-4000 kg	13,97	1	13,97	20	20
					20,46		46,48
TA77	m3	Tot-u per camins d'accés auxiliars	15,8	1425	22514,18775		
A0121000	h	Oficial 1a	22,51	0,005	0,11255		
B037R000	m3	Tot-u art.procedent granulats reciclats form.	8,1	1	8,1	11,2	11,2
C1311430	h	Pala carregadora s/pneumàtics 8-14t	71,76	0,03	2,15	176,46	5,29
C1335080	h	Corró vibratori autopropulsat,8-10t	50,44	0,024	1,21	127,18	3,05
C1501800	h	Camión transp.12 t	37,71	0,112	4,22	189,18	21,19
					15,8		40,73
					338.046 €		

Taula 13. Justificació de partides de l'alternativa 8

Tot i que és l'alternativa que Iberport Consulting va considerar com la millor, no és ni la més barata (1 milió d'euros aproximadament) ni la que menys emet. D'aquest milió d'euros, una mica més d'un terç prové de la construcció del dic submergit i la resta de l'exempt.

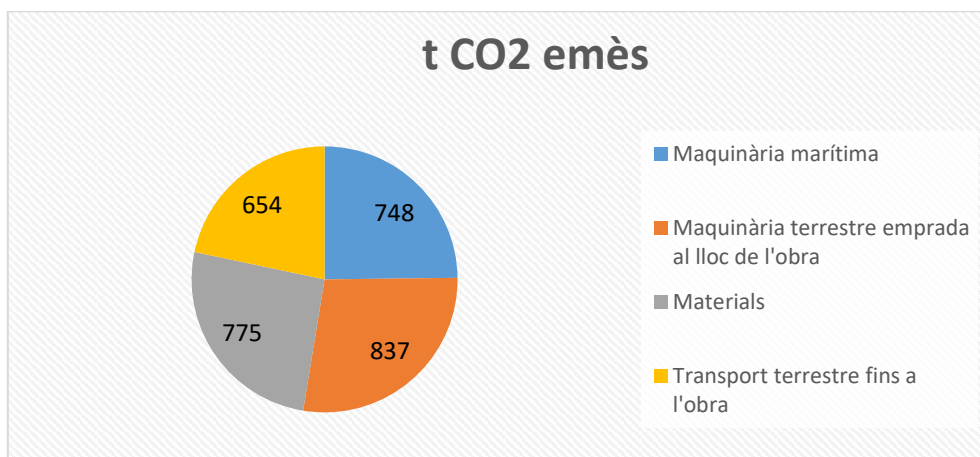


Figura 56. Emissió de CO₂ en tones corresponent a l'alternativa 8

Referent a les emissions, aquestes sumen un total de 3.015 t de diòxid de Carboni encapçalades per la maquinària terrestre del lloc de l'obra (837 t) seguida per la derivada de la producció dels materials i la maquinària marítima. El fet d'incorporar el dic submergit trenca l'esquema d'emissions dels dics exempts explicat a les alternatives anteriors. La maquinària marítima adopta un paper important que s'han de dragar 35.000 m³ de sorra d'aportació, dels quals 11.000 seran exclusivament per a la configuració d'equilibri de la zona abrigada del dic submergit.

6.3 Comparació d'alternatives i conclusions d'interès

Un cop presentats els resultats corresponents a totes les alternatives per separat, es farà una comparació de totes elles per extreure'n conclusions a nivell general. El primer pas consisteix a normalitzar les alternatives, concretament la primera que no contempla la construcció d'estructures sinó que una redistribució del sediment de la mateixa platja. En aquest text es fa referència a normalitzar en el sentit d'emmarcar totes les alternatives dins el mateix lapse de temps. És a dir, si segons la ROM 0.0 les estructures d'obra marítima estan projectades per una vida útil de mínim 25 anys, s'haurà de contar quantes vegades es redistribueix sorra segons la primera alternativa per tal de fer una comparativa justa.

Tal com s'ha vist a l'apartat 4.3.1 durant els 24 últims anys es poden detectar 16 episodis de basculació. De totes maneres, a l'hora de fer el càlcul de la normalització es prendran 13 temporals, ja que si s'observa l'històric de dades, en 3 dels casos hi ha dos temporals seguits de direccions oposades fet que neutralitza el fenomen. Per tant, la ràtio de basculacions a l'any ens surt de 0,54 que multiplicat per 25 anys que s'esperen de vida útil d'una estructura es té un total de 13,5 redistribucions de sorra en 25 anys.

Un cop normalitzada l'alternativa 1, ja es poden comparar totes les alternatives de forma conjunta tal i com es mostra a la Figura 57.

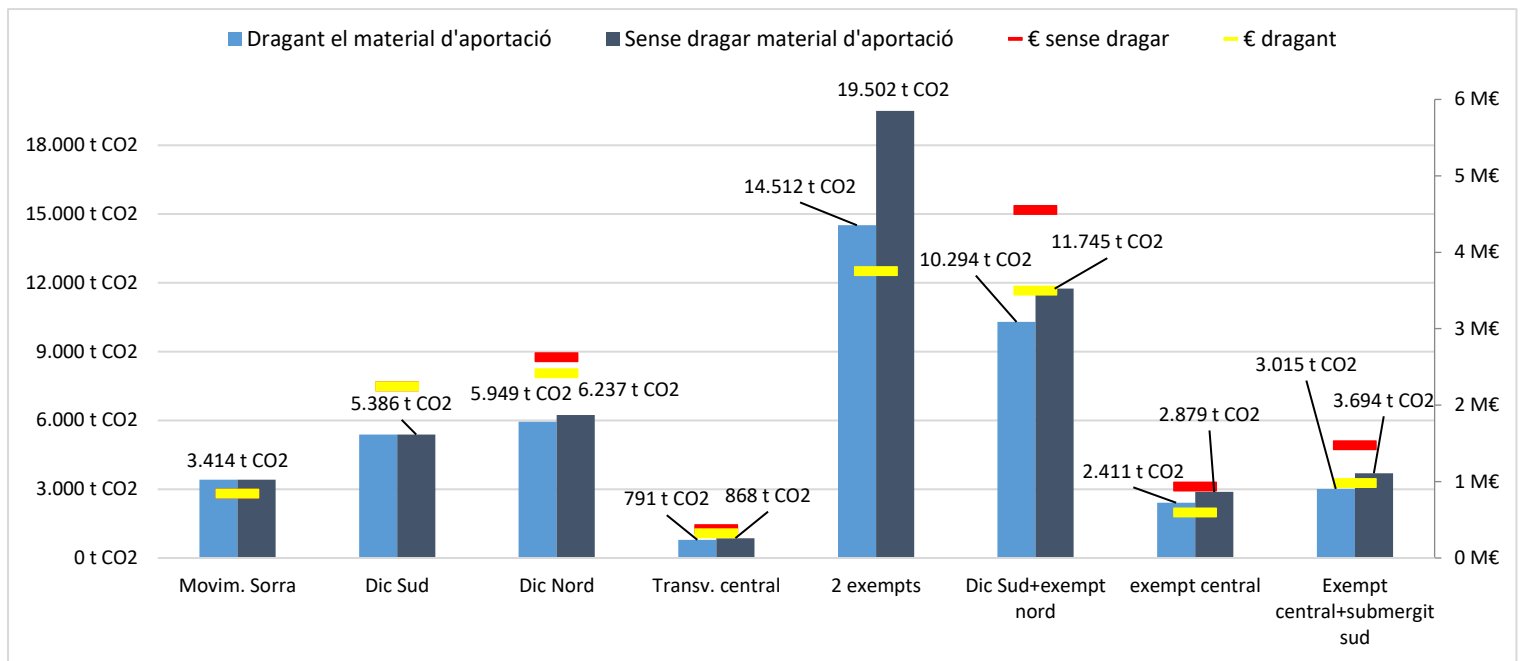


Figura 57. Comparativa d'alternatives. A l'eix vertical principal hi ha l'escala d'emissions en tones de CO₂ i al secundari (a la dreta) es mostra l'escala monetària en euros. Les barres representen les emissions totals, en blau clar els resultats dragant el material d'aportació i en blau marí sense fer-ho. Les ratlles horitzontals grogues i vermelles representen el cost monetari dragant i sense dragar respectivament

Com a primer anàlisi de les emissions totals, es poden observar tres grans clústers o grups que coincidint amb el seu ordre de magnitud. El primer que es caracteritza per tenir emissions de centenars de tones està format solament per l'alternativa 4 (dic transversal central). Un segon grup format per aquelles alternatives que emeten de l'ordre de milers de tones format per les alternatives 1, 2, 3, 7 i 8. Finalment, un quart format per les alternatives 5 i 6 (dos dics exempts i dic sud amb exempt central) que emeten de l'ordre de desenes de milers de tones.

Tenint una visió general de les emissions en tones de diòxid de Carboni, es veu que el patró que segueixen els costos de les obres és molt semblant al de les emissions. És interessant observar com en un gràfic cost-emissions el núvol de punts s'orienta en forma de recta tot i les diferències entre les alternatives (Figura 58). El rànquing d'alternatives per emissions i per costos coincideix a excepció del de les alternatives 1 i 8 que en emissions la primera ocupa la cinquena posició en ordre descendent i la sisena posició a l'escala de cost i a l'inversa per l'alternativa 8, que ocupa la sisena posició d'emissions i la cinquena en cost.

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

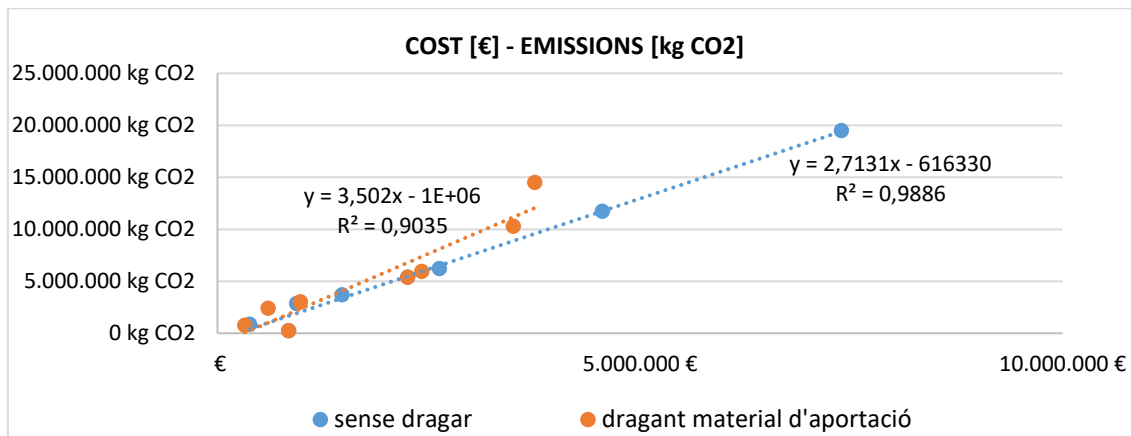


Figura 58. Relació entre costos monetaris i emissions de les 8 alternatives

També és interessant comentar l'aportació de cada un dels grups d'emissors al còmput total. Aquest resultat es pot observar a la Figura 59.

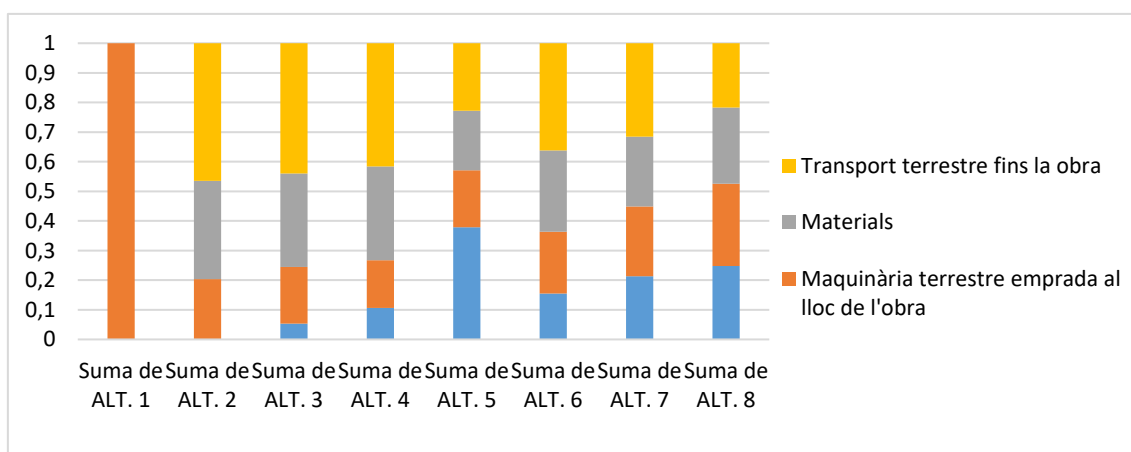
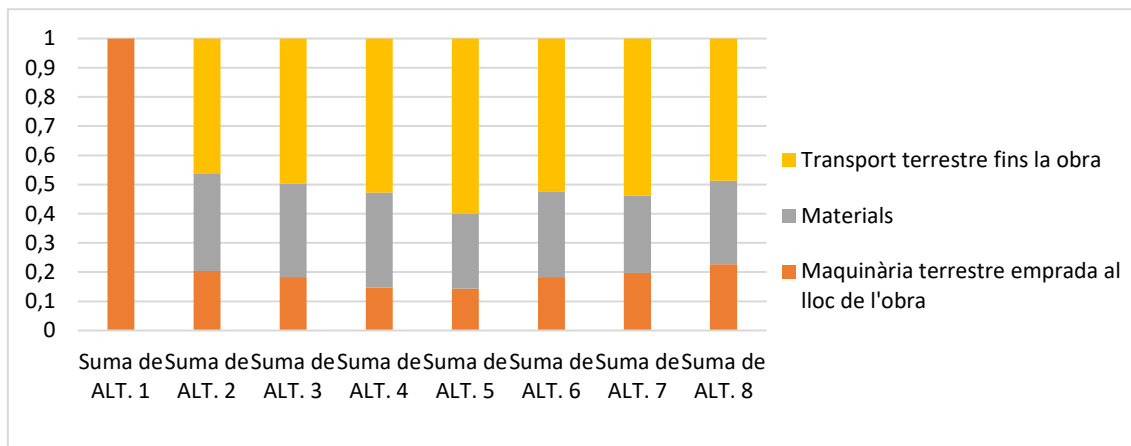


Figura 59. Aportació de cada grup d'emissors al resultat total. Resultats en tant per u. A la part superior els resultats sense dragar el material d'aportació i a baix dragant-lo

Tal com s'ha vingut comentant per a cada alternativa per separat, les emissions derivades de la producció dels materials es mantenen constants per totes les alternatives i es situen entre un 20 i 30% del total. S'observa també com les alternatives que contempnen un sol tipus d'estructura tenen patrons similars,

per exemple les alternatives 2, 3 i 4 que corresponen a espigons i les 5 i 7 que preveuen l'execució de dics exempts. D'altra banda les alternatives sisena i vuitena que estan formades per un espigó i un dic exempt o un dic exempt i un dic submergit respectivament tenen una configuració especial. Finalment, l'alternativa primera de redistribució íntegra del sediment de la platja només es veu afectada per la maquinària terrestre al lloc de l'obra.

La gran diferència entre dragar el material d'aportació i no fer-ho es troba en l'aparició de la maquinària marítima com a font emissora (de color blau a la Figura 59). Tot i aparèixer un nou tipus d'emissor, en termes totals és gairebé sempre beneficiós dragar. Per tal de quantificar quan serà millor dragar i quan transportar la sorra des de pedrera s'han estudiat al detall les emissions que suposen aquestes dues alternatives d'obtenció del material d'aportació.

Les emissions produïdes pel dragat segueixen la següent expressió:

$$E_d = 21,13 q \quad (6)$$

On q correspon a la quantitat de material d'aportació que s'haurà de dragar en metres cúbics.

Cal remarcar que aquesta funció s'obté consultant el banc de dades del BEDEC que contempla l'operació amb una draga autopropulsada de 30 cm de diàmetre i a una fondària de fins a 15m. Recordem que segons Iberport (2008), la profunditat de tancament de la platja de Lloret es situa entre els 4 i 5 m i que s'ha suposat que es pot dragar des d'una zona pròxima a la platja sempre i quan sigui a més profunditat que la de tancament. L'extensió del material un cop abocat a la platja es contempla amb pales carregadores de 31-40t.

D'altra banda, l'emissió derivada del transport terrestre des de pedrera fins al lloc de l'obra amb camió de 12 tones i descàrrega i extensió amb l'ajut de pales carregadores de 31-40 t es pot quantificar amb la següent expressió dependent de la distància a la que es situa la pedrera:

$$E_c = (1,32d + 7,26)q \quad (7)$$

On:

q correspon a la quantitat de material d'aportació en metres cúbics

d és la distància entre el lloc de l'obra i la pedrera.

A la Figura 60 s'observa gràficament com evolucionen les emissions a mida que augmenta la distància entre la pedrera i l'obra mitjançant el concepte d'"Isoemissores", que no són més que circumferències concèntriques al lloc de l'obra que mostren zones d'igual emissió segons la posició de la pedrera.

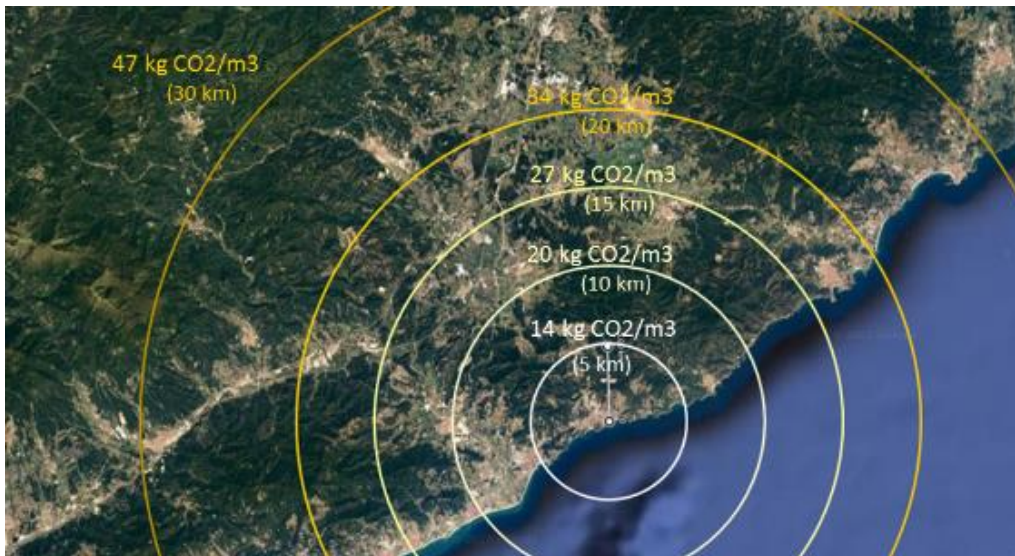


Figura 60. "Isoemisores" del transport terrestre de material d'aportació fins a l'obra

Si s'igualen les expressions (6) i (7) s'obindrà la distància límit a partir de la qual es més sostenible dragar o transportar el material des de pedrera. Un cop fet els càlculs, aquesta distància que s'anomenarà d^* pren el valor de 10,5 km.

Per tant, per pedreres situades a una distància de menys de 10,5 km, serà més sostenible en termes d'emissions transportar el material d'aportació mitjançant camions i estesa amb pales. D'altra banda, si la pedrera es troba a una distància superior a $d^*=10,5$ km, serà més eficient dragar. S'han consultat diverses fonts d'Internet així com inspeccionat la zona mitjançant Google Earth buscant alguna possible pedrera dins d'aquests 10,5km i no se n'ha trobat cap. Per aquest motiu i sabent que econòmicament l'estalvi que suposa dragar és enorme (un 40% de mitja de les 6 alternatives que contemplen aportació), s'ha decidit estudiar les alternatives a l'apartat 6.2 contemplant dragat sempre que es necessiti material d'aportació.

Aquests resultats s'interpreten millor amb l'ajut de la Figura 61, on es pot veure que la línia negra que correspon al transport a una distància de pedrera de 10 km emet menys que el dragat representat de color rosa ja que la distància límit eren 10,5 km.

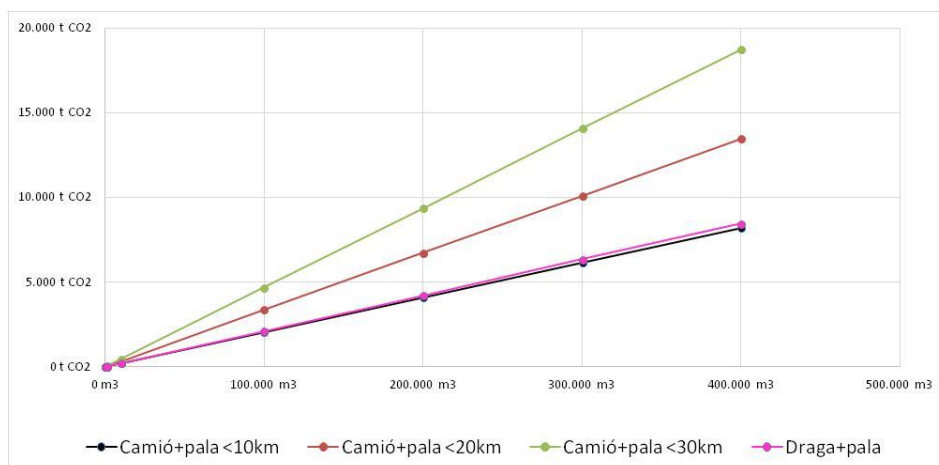


Figura 61. Gràfic de comparació entre les emissions del dragatge i el transport des de pedrera

Per tancar l'anàlisi econòmic i d'emissions de les alternatives, s'ha calculat l'emissió unitària de cada tipus d'estructura per fer-ne un balanç general. Els resultats es recullen a la Taula 14 i tenen l'objectiu de mostrar quina de les estructures emet més unitàriament, és a dir per metre lineal o per metre cúbic. Els resultats de la Taula 14 referents a les alternatives 6 i 8 que són fruit d'una combinació d'alternatives, mostren el resultat per a l'estructura que no s'ha presentat amb anterioritat. Per exemple si s'observa la alternativa 6 que és una combinació de la segona alternativa amb un dic exempt a la zona nord, s'oferirà el resultat del dic exempt de la zona nord.

En obra marítima es parla sovint de cost per metre lineal d'una estructura i aquest concepte s'ha volgut extrapolat a emissió per metre lineal. Per fer-ho s'han pres les emissions totals de cada alternativa menys les derivades del dragat de material d'aportació i s'han dividit entre les longituds de les estructures. De totes maneres, tal com es mostra a la fila 5, els resultats són molt diversos ja que no es té en compte la fondària de construcció que determinarà el volum de les estructures.

Per tal de superar les deficiències comentades al paràgraf anterior, a la fila 6 s'ha calculat l'emissió per metre cúbic d'estructura observant així una millora de consistència en els resultats. D'una banda es veu com els dics de les alternatives 2, 3 i 4 (mateix procediment constructiu) adopten valors que ronden els $70 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$, els dics exempts que també tenen el mateix procediment constructiu es situen en valors que oscil·len entre 140 i $190 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$ i el dic submergit en un valor pròxim a 100 . Sembla a ser doncs que s'han refinat els resultats tot i que se segueix tenint incertesa en els dics exempts on els valors difereixen en més d'un 35% tot i estar construïts de la mateixa manera. Per solucionar-ho, es prendrà no només el volum relacionat amb les estructures sinó que també el dels camins auxiliars que juguen un paper molt important en la construcció d'un dic exempt (fila 7). S'ha decidit d'aquesta manera perquè les emissions en un dic exempt derivades de la construcció de camins auxiliars, que en les totals de la fila 1 estan incloses, són rellevants. Per tant, s'està afegint informació de la distància de la costa a què aquests dics exempts estan construïts.

S'obtenen finalment els resultats de la fila 8 que es podem resumir com a continuació:

1. Dics de les alternatives 2, 3 i 4: $70 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$
2. Dics exempts de les alternatives 5, 6 i 7: $75\text{-}80 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$
3. Dic submergit de l'alternativa 8: $65 \text{ kg CO}_2/\text{m}^3$

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

		ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 4	ALT. 5	ALT. 6	ALT. 7	ALT. 8
		Movim. Sorra	Dic sud	Dic nord	Transv. central	2 exempts	Dic sud+exempt nord	Aport sorra+exempt central	Aport+exempt central+sub. sud
1. Emissió Total	t CO ₂	3.414	5.386	5.949	791	14.512	10.294	2.411	3.015
2. Emissió sense tenir en compte material aportació	t CO ₂	-	5.386	5.632	707	9.019	8.697	1.895	2.267
3. Metres lineals estructura	m	-	150	200	105	300	100	75	90
4. Volum total estructura	m ³	-	72.891	76.450	10.175	64.800	19.688 (exe.)	9.975	6700 (sub.)
5. Emissió per metre lineal	t CO ₂ /ml	-	36	28	7	30	87	25	25
6. Emissió per metre cúbic	kg CO ₂ /m ³	-	74	74	69	139	168	190	99
7. Volum total estructura + volum camins accés	m ³	-	77.375	80.934	10.175	121.378	42.540	23.538	10.263
8. Emissió per metre cúbic d'estructura + camins accés	kg CO ₂ /m ³	-	70	70	69	74	78	81	65

Taula 14. Recull de les dades d'emissió unitàries de les diferents alternatives

7. DISCUSSIÓ DE RESULTATS

Durant el transcurs d'aquest estudi s'han obtingut un bon grapat de resultats que és d'interès analitzar-los ara que es té la perspectiva global de la problemàtica. En aquest apartat es valoraran els resultats obtinguts des d'una òptica general, així com es comentaran les seves limitacions.

7.1 Anàlisi dels episodis de rotació

Aquest anàlisi s'ha dut a terme des de dos punts de vista diferents, d'una banda s'ha digitalitzat la línia de costa mitjançant ortofotos i imatges aèries i per altra banda s'han analitzat les corbes d'estat de mar de diferents punts SIMAR i de la boia de Palamós. Ambdós fronts d'anàlisi comparteixen l'objectiu de detectar tant els episodis de basculació documentats per l'ajuntament com aquells que, sense haver estat registrats per l'ajuntament, han produït basculació de la platja. S'han detectat un total de 16 episodis de basculació dels quals 9 han estat documentats per l'ajuntament i 7 detectats a través de l'anàlisi de les sèries d'onatge i les ortofotos.

Les competències municipals sobre les platges de Lloret són gestionades pel departament de Medi Ambient de l'ajuntament que té moltes més ocupacions a part de la de gestionar les platges del municipi. De totes maneres, la gestió que s'ha dut i s'està duent a terme està encarada a la funció d'ús recreatiu de la platja, de tal manera que a principi de la temporada estival la Platja Gran de Lloret ha de gaudir d'un ample mínim més o menys uniforme per tal d'albergar els serveis que s'ofereixen en ella. D'altra banda, la funció de protecció de la platja està infravalorada i s'ha observat que davant alguns temporals (2001, 2008, 2013) l'amplada de platja ha sigut insuficient i l'onatge ha arribat directament al passeig dipositant sorra i provocant inundacions. Malgrat tot, l'ajuntament conscient d'aquesta problemàtica va encarregar el 2008 un estudi a l'empresa Iberport Consulting amb l'objectiu de neutralitzar aquest efecte de rotació. El resultat van ser un total de 8 alternatives de gestió que contemplen des de mantenir la gestió actual amb algunes millores, fins a la construcció d'estructures tals com dics, dics exempts o dics submergits.

També és destacable la precarietat dels registres de les sèries de dades d'onatge que són insuficients per a poder observar patrons i tendències clares. Això combinat amb la no estandardització dels episodis de basculació documentats per l'ajuntament fa que la detecció d'episodis potencials de basculació no sigui precisa. És important comentar que tampoc es tenen ortofotos de cada any i s'han hagut de georreferenciar imatges aèries amb l'error que això comporta. En aquest context, la crisi econòmica també ha tingut efecte negatiu en el descens dels vols d'ortofotos a partir de 2010.

Tant les sèries d'onatge com les diferents línies de costa mostren una tendència de la platja a bascular cap a la zona sud-oest sense deixar de banda alguna gran rotació cap a la zona oposada. Llavors, es confirma que el patró d'onatge de la zona és bidireccional amb el llevat com a direcció predominant però amb algun sud intens. Una manera molt gràfica de veure aquest resultat ha estat en el vector progressiu que es situa íntegrament al quart quadrant prop de l'eix abscisses (apartat 4.3.1). Un altre indicador que demostra aquesta tendència de la platja a bascular cap a la zona sud-oest es troba en la Figura 62 on es mostren amplex de platja en abscisses i probabilitats en ordenades. Sabent que T2, T11 i T19 són tres transectes diferents situats a la zona sud, centre i nord respectivament, es veu com T2 (de clor blau i corresponent a un transecte del sud) assegura uns 40 m d'amplada amb una probabilitat d'un 90%, mentre que un transecte de la zona nord (T19) assegura menys de 20m amb un 90%. En altres paraules, s'està dient que de les 21 línies de costes dels diferents anys que s'han digitalitzat, un 90% d'aquestes presentaven un ample d'uns 40 m pel T2 i només d'uns 15 m pel T19.

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

A part, per transectes de la zona central que són els pròxims al centre de rotació i varien menys, la corba es manté fins als 40 metres que cau en picat. Això és així perquè aquests transectes tenen poques variacions i aquestes variacions són sempre al voltant dels 40 m.

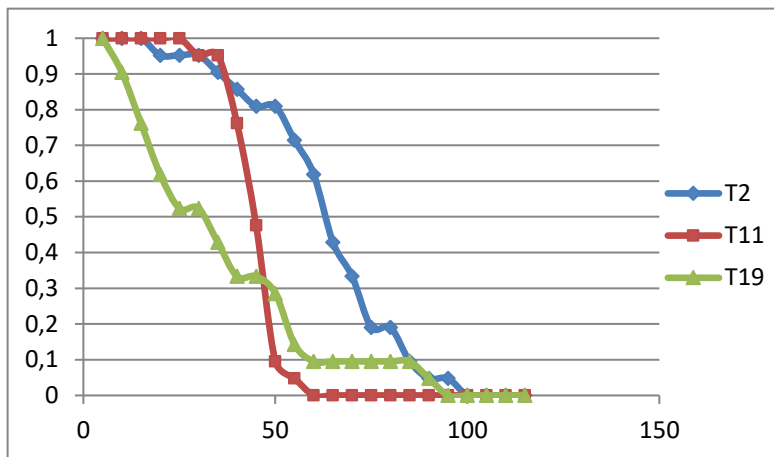


Figura 62. Probabilitat de tenir un cert ample de platja per tres transectes diferents T2, T11 i T19 de les zones sud, centre i nord respectivament

Es pot observar el comportament general de tots els transectes a la Figura 63 on les corbes més gruixudes corresponen a transectes de la zona sud i nord. El de la zona sud serà el límit superior (color marró) a causa de que la platja té tendència a bascular cap al sud i el límit inferior serà el de la zona nord (color negre). Concretament aquests transectes són T20 pel nord i T3 pel sud. Els transectes de la zona central s'identifiquen per la caiguda sobre els 40 m com s'ha comentat anteriorment.

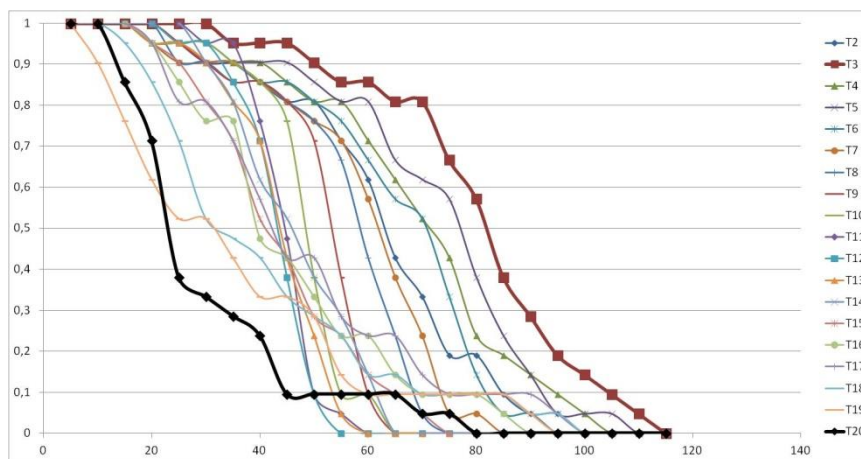


Figura 63. En abscisses es representa l'ample de platja en metres i en ordenades la probabilitat de tenir ample de platja per cada un dels transectes

S'ha observat també que l'onatge no presenta un comportament hivern-estiu a causa del domini d'uns o altres onatges si no que poden presentar-se ambdós de forma aleatòria dins l'època de tempestes (octubre-abril).

De la digitalització de les diferents línies de costa, s'ha pogut veure que el centre de rotació de la platja es situa proper al transecte 11. És a dir, prop de les coordenades UTM 31T 487527 m E 461636 m N.

7.2 Anàlisi de les alternatives: emissions, cost i impacte paisatgístic/social

En aquesta tesina s'han estudiat les 8 propostes que Iberport Consulting va posar sobre la taula en el marc del "Proyecto de estabilización de la playa de Lloret de Mar T.M Lloret de Mar (Girona)". Des d'un punt de vista crític i molt enfocat a l'anàlisi d'emissions de diòxid de Carboni s'ha intentat buscar els punts forts i les febleses de cada una d'elles per acabar proposant una alternativa acord amb els objectius que es presenten a continuació:

1. Estabilització de la línia de costa davant episodis de rotació
2. Aconseguir la gestió a un preu raonable
3. Baix impacte sobre la configuració actual de la platja
4. Baix impacte ambiental en termes d'emissions de diòxid de Carboni

Després d'haver vist la resolució del projecte, s'ha pogut observar que el projectista Iberport Consulting atorgava molt pes als objectius 1, 2 i en menys mesura als 3 i 4 mentre que l'ajuntament va valorar molt el punt tercer fins al nivell d'acceptar l'alternativa proposada que més s'assemblava a la gestió que s'estava duent a terme per considerar que les altres trencaven amb la morfologia "de tota la vida" de la platja. A continuació es fa un breu resum de les alternatives i s'aporten les debilitats i fortaleces de cadascuna per acabar escollint-ne una. Per triar-la s'ha tingut en compte també les emissions de CO₂, un aspecte no contemplat ni per l'ajuntament, ni pel projectista.

És important remarcar que l'empremta de Carboni s'ha calculat d'acord amb els procediments constructius descrits a l'apartat 4.2 d'aquesta tesina. Aquests contemplen les actuacions significatives de cada obra deixant de banda aquells aspectes necessaris en una obra però que no estan a l'abast d'aquest estudi com podrien ser el ballat de la zona d'obra o la pròpia senyalització.

7.2.1 Alternativa 1: Seguiment de la platja i redistribució de sorres

La primera alternativa consisteix en una redistribució del mateix sediment de la platja quan l'ample d'algun sector d'aquesta sigui inferior a un valor determinat que es considera el mínim necessari per a la funció de protecció de la platja. És una alternativa que planteja un seguiment continu de la forma en planta de la platja i que no suposa una modificació substancial de la configuració actual.

Per saber el moment en què s'ha de redistribuir el sediment es segueixen les pautes d'un estudi realitzat pel LIM al 2002 on s'analizaven les condicions en les quals es podria trobar la platja davant de l'impacte d'un temporal. Fruit d'això, es definien uns amplex mínims de protecció gràcies al fet que es contemplaven les combinacions de tots els possibles estats de la platja amb els dos patrons de temporals que poden haver-hi. Els amplex de protecció mínims ronden els 30 metres.

Com a avantatges en destaquen els valors baixos d'emissions, el baix cost i que implica un impacte sobre el paisatge gairebé nul mantenint la morfologia en planta pròpia de la zona. D'altra banda, és necessari realitzar tràmits administratius cada cop que s'hagin de dur a terme obres i ningú assegura que no pot venir un temporal més potent que els que s'han utilitzat per definir els amplex mínims de protecció. Llavors, es pot afirmar que no resol el problema de basculació al 100%. Finalment, el seguiment continu de la platja requereix personal encarregat i es pressuposa que es disposarà sempre de prou sediment per

a la pròpia redistribució del material, fet que es demostrarà al final d'aquest apartat. L'alternativa no es descartaria directament.

7.2.2 Alternativa 2: Dic sud

Com indica el seu nom, consisteix en realitzar un dic a la zona sud per retenir el material mobilitzat dels temporals de llevant i protegir al tram de costa sud dels de migjorn. La longitud de costa protegida de la zona sud és de 250 m.

Aquesta alternativa presenta grans impediments econòmics, constructius i d'emissions de diòxid de Carboni al contemplar un espigó construït a grans calats (9-10 m aproximadament) i a una zona de difícil accés per a la maquinària. A part, el seu impacte visual és elevat al tractar-se d'una estructura vista que fa canviar la forma en planta de la platja i no resol el problema de la basculació dels temporals de llevant. Es descarta directament.

7.2.3 Alternativa 3: Dic nord

Es tracta de l'alternativa simètrica a la segona on es reté el sediment mobilitzat pels temporals de sud i es protegeix la zona nord dels temporals de llevant. La longitud protegida de costa ascendeix als 150 m.

Similar a l'alternativa 2, aquesta no resol els problemes de basculació dels temporals de sud i implica valors elevats d'emissions, de costos i està situada a una zona de difícil accés per a la maquinària. A més a més faria desaparèixer les dues cales situades a la zona nord. Es descarta directament.

7.2.4 Alternativa 4: Dic transversal Central

En aquest cas, les dificultats de construcció desapareixen perquè el dic està projectat a una zona de fàcil accés i calats raonables. Tot i ser l'alternativa que menys CO₂ emet i que surt més barata, suposa una divisió de la platja en dues cel·les amb un comportament individual que trenca amb el concepte actual de la platja elevat l'impacte paisatgístic i social.

La longitud que protegeix es considera de 100 m i a la zona central, llavors no es pot assegurar que sigui una alternativa que garanteixi una protecció total contra la basculació. De fet dependrà de la orientació dels temporals que provocaran un moviment de la línia de costa tendint a ser paral·lela al dels seus fronts d'ona. Per tant, seran crítics aquells temporals amb més inclinació respecte l'orientació de la platja.

També s'ha de tenir en compte que es tracta d'una barrera física del transport de sediment i sol provocar processos erosius aigües avall de la direcció de transport, que al ser l'onatge bidireccional es donaria a les dues cel·les. A més a més, s'ha vist que els espigons situats perpendicularment a la Platja de Lloret (actualment n'hi ha sis de curts), poden afavorir l'*overtopping* de l'estructura del passeig. Es pot afirmar que no és l'alternativa adient però no es descarta de forma directa.

7.2.5 Alternativa 5: Dos dics exempts

Tot i ser l'alternativa que resol la totalitat del problema de la basculació pels dos patrons de temporal principals, contempla dos dics exempts de 150 m de longitud cadascun situats a una distància de 200 m de la línia de costa. És a dir una construcció a grans calats (9-10 m) i molt lluny de la línia de costa que implicaria mobilitzar maquinària marítima o crear grans motes per a camins auxiliars.

Com s'ha vist, és l'alternativa més cara i que més emissions faria, elevant aquesta última xifra un o dos ordres de magnitud respecte a les altres alternatives.

Finalment, requereix de 260.000 m³ d'aportació i canvia radicalment la forma en planta natural de la Platja de Lloret. L'alternativa es descarta directament.

7.2.6 Alternativa 6: Dic sud amb exempt al nord

Contempla l'espigó de l'alternativa 2 afegint-hi un dic exempt per estabilitzar la zona nord. És la segona alternativa més cara i també ocupa el segon lloc en emissions a causa de la magnitud de les obres que contempla. Ja s'han explicat a l'apartat 7.2.2 tots els punts dèbils de construir un espigó a la zona sud a grans calats i amb difícil accés per la maquinària.

En principi es garanteix l'estabilitat dels 200 m de la zona sud amb l'espigó construït en aquell sector i 300 de la zona nord. De totes maneres, el dic exempt està projectat a 150 m de la costa i implicaria un avanç de la línia de costa al seu extradós d'uns 90 m amb una aportació de 75.600 m³. És un canvi substancial de la morfologia en planta de la zona i l'impacte social seria elevat. Es descartaria per ser la segona opció més cara en euros i emissions.

7.2.7 Alternativa 7: Dic exempt central

Aquesta alternativa, igual que la número 4, dividiria la platja en dues "sub cel·les" que rotarien individualment. La principal diferència és que en comptes d'actuar bloquejant el transport de sediment físicament, actua reduint l'energia de l'onatge i desplaçant el centre de rotació.

La longitud considerada protegida és de 300 m a la zona central de la platja gràcies a la formació d'un sortint d'uns 60 m a l'extradós de l'estructura. Es contempla un dic força més discret que en d'altres alternatives i a una distància de la costa no molt llunyana. Això provoca una reducció en els costos i les emissions que situa l'alternativa en una de les tres més favorables tant en cost com en emissions.

L'impacte social i paisatgístic es considera elevat al generar un sortint de 60 m a la zona central de la platja i no s'assegura l'estabilització dels dos extrems de la platja. Per ser una alternativa beneficiosa en termes d'empremta de Carboni i costos, no es descartaria directament tot i el seu impacte paisatgístic sobre la configuració inicial.

7.2.8 Alternativa 8: Exempt central i submergit sud

La vuitena i última alternativa contempla el dic exempt central presentat a l'alternativa 7 i un dic submergit a la zona sud. L'objectiu del dic submergit és protegir el tram sud de la platja que es quantifica en 200 m. D'altra banda també faria de contenció lateral del perfil actiu de la platja.

Segons el comentat anteriorment, les basculacions del tram sud i centre estarien solucionades faltant per resoldre les del nord. La problemàtica nord s'abordarà des del punt de vista d'un replanteig del passeig deixant més amplada a la platja. De totes maneres en aquesta tesina no s'ha tingut en compte cap opció de replanteig del passeig.

Pel que fa a les emissions, és la sisena que menys emet i de les 3 més barates en cost. L'alternativa en si és atractiva pel fet d'estabilitzar la platja enfront de les basculacions però canvia la configuració en planta

de la platja amb els dos sortints que es generen a les zones abrigades dels dics submergit i exempt. L'alternativa no es descartaria directament.

7.3 Alternativa escollida i proposta d'execució pels casos del 2004 i 2014

Després de presentar els aspectes positius i negatius de les alternatives s'ofereix un quadre resum on es pot veure si aquestes satisfan els quatre objectius plantejats al principi d'aquest apartat.

		ALT. 1	ALT. 2	ALT. 3	ALT. 4	ALT. 5	ALT. 6	ALT. 7	ALT. 8
		Movim. Sorra	Dic Sud	Dic Nord	Transv. central	2 exempts	Dic Sud+exempt nord	Aport sorra+exempt central	Aport+exempt central+sub. sud
Emissió Total	t CO ₂	3.414	5.386	5.949	791	14.512	10.294	2.411	3.015
Cost Total	€	843.161	2.249.839	2.418.300	324.311	3.754.735	3.500.058	598.172	981.098
Protecció front a la rotació	-	Moderada	Baixa	Baixa	Moderada	Molt elevada	Elevada	Moderada	Elevada
Impacte paisatgístic i social	-	Nul	Elevat	Elevat	Molt elevat	Molt elevat	Elevat	Moderat	Elevat

Taula 15. Resum dels resultats obtinguts per les diferents alternatives. Les quatre files representen els 4 objectius bàsics a assolir per una correcta gestió de la platja de Lloret. Els marcadors de colors de les dues primeres files segueixen el següent criteri: verd quan el valor no representa més del 25% del rang total, entenent com a rang total a aquell delimitat pels valors més alt i més baix de la sèrie. El groc, verd i negre pels valors que representen entre un 25% i 50%, entre un 50% i 75% i més d'un 75% respectivament

Davant els resultats obtinguts, es descarten d'entrada les alternatives 2 i 3 perquè ofereixen protecció baixa davant la basculació. Les alternatives 5 i 6 també es descarten per tenir un cost massa elevat. Havent descartat aquelles alternatives que es consideren directament inviables, ens trobem en un panorama on hem de triar entre les alternatives 1, 4, 7 o 8.

Totes aquestes 4 alternatives tenen en comú un cost inferior a 1M € i emissions de CO₂ per sota les 3.500 tones. El que les diferencia és l'impacte sobre la configuració de la costa actual i la protecció enfront de la basculació. Aquí és on s'hauria de plantejar si es valora més mantenir la morfologia en planta actual i assumir possibles basculacions derivades d'un temporal més fort que el de càlcul de l'alternativa 1 que deriva d'un estudi històric o canviar la forma en planta de la platja segons indiquen les alternatives 4, 7 o 8.

D'altra banda, l'alternativa 4 contempla un espigó transversal central que introdueix un obstacle per bloquejar el transport longitudinal de sediment al centre de la platja. Aquesta obra trencaria amb l'homogeneïtat de la platja actual i es considera que no seria acceptat socialment pel que es descarta.

L'alternativa 7 no disposa de cap mecanisme contra les basculacions de temporals de sud i també es descarta perquè la vuitena contempla el mateix dic exempt que la setena afegint un submergit a la zona sud pels temporals de migjorn.

Finalment, s'optarà per l'alternativa 1 perquè encara que la seva protecció enfront de la basculació sigui més incerta, no canvia la configuració de la platja actual i l'impacte paisatgístic i sobre la població és mínim. Un argument a favor d'aquesta alternativa és el fet que segons la ROM 0.0, la vida útil d'una obra marítima ha de ser mínim de 25 anys però el que indica l'experiència és que aquesta perd la funcionalitat molt abans. Llavors, tal i com s'ha vist a l'apartat 6.3 on es normalitzava l'alternativa 1 per poder-la comparar amb les altres i tenir en compte el nombre de redistribucions totals que es farien durant els 25 anys de vida útil d'una estructura, si la vida útil es redueix, implicarà un menor cost en emissions i euros de l'alternativa primera.

Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar

A part, si es contempla un hipotètic cas molt desfavorable per l'alternativa 1, assumint que els dics si que tenen una vida útil de 25 anys i que en comptes de fer 0,54 redistribucions/any tal com s'ha demostrat a partir de les dades històriques se'n fessin 2 cada 3 anys, les emissions serien prop d'un 40% més que les de l'alternativa 8 i el cost només un 5% superior. Llavors, es pot afirmar que la decisió segueix sent vàlida davant d'unes condicions fictícies molt desfavorables.

Finalment, ja que s'ha escollit l'alternativa 1 i que aquesta es basa en la redistribució de sediment de la mateixa platja, es demostrarà que hi ha suficient sediment a la platja per la redistribució i s'oferirà l'exemple de com s'hagués procedit davant dues configuracions de platja totalment basculades cap a la zona sud i nord (2004 i 2014 respectivament).

A la Taula 16, s'observa l'evolució de l'àrea de la Platja de Lloret en planta. Aquests resultats poden ser un bon indicador per confirmar la hipòtesi de conservació de sediment de la platja comportant-se com una cel·la. Es veu com la tendència és baixista però no significativament al ser d'un 9% entre el primer registre i l'últim. S'accepta que existeix pèrdua de sediment però que aquesta no es significativa, a efectes de càlcul es considerarà com una cel·la que no perd sediment.

Any	Superfície [m ²]	Variació respecte registre anterior	Variació respecte la superfície mitja	Valor ample mig [m]
1993	60463,4		7%	46,5
1994	57798,7	-4%	3%	44,5
1997	61739,1	7%	10%	47,5
2000	50948,0	-17%	-10%	39,2
2001	57749,7	13%	3%	44,4
2004	59314,6	3%	5%	45,6
2006	57106,5	-4%	1%	43,9
2008	53890,2	-6%	-4%	41,5
2010	51718,8	-4%	-8%	39,8
2011	52237,7	1%	-7%	40,2
2012	55731,2	7%	-1%	42,9
2014	58382,1	5%	4%	44,9
2015	54836,6	-6%	-3%	42,18
Valor mitjà	56301,3			43,3

Taula 16. Estudi de l'evolució de l'àrea de la Platja de Lloret en planta. Dades extretes a partir del software ArcMap amb les línies de costa digitalitzades per la consecució dels apartats anteriors

Un cop confirmat que el sediment de la platja es manté i que es disposarà de suficient sorra per a la pròpia redistribució, es presenta quin perfil d'equilibri s'usarà per a fer els càlculs dels volums de redistribució de la platja en l'estat que presentava el juny del 2004 i el març del 2014.

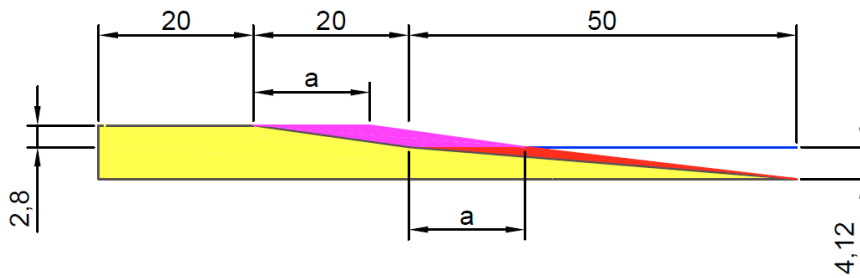


Figura 64. Perfil de càlcul per a les redistribucions de sorra de la Platja de Lloret. Les àrees rosa (A1) i vermella (A2) serien les que farien falta per augmentar el perfil un ample "a".

El perfil es basa en el proposat per Iberport Consulting (2008), que alhora pren com a referència els valors extrems del temporal de Novembre del 2001 aprofitant que aquest va sobrepassar la platja causant inundacions. Gràcies a la suma del valor obtingut de *run-up* amb el de sobre elevació del NMMA produït per la marea astronòmica i meteorològica s'obté una altura de platja de disseny de 2,8 m. La profunditat de tancament s'ha calculat seguint la proposta de Birkermeier (1985) i ha donat un resultat de 4,12 m.

També s'han indicat de colors rosa i vermell les àrees necessàries per augmentar una distància "a" l'ample del perfil. Són indispensables per calcular els volums de redistribució i les configuracions finals de la platja en planta. Un cop presentats tots els paràmetres necessaris, es veuen les dues propostes de redistribució pels casos de l'estat de la platja el 2004 i 2014. Per ambdós casos, s'ha considerat una redistribució per tal d'aconseguir a tota la platja un ample de com a mínim 40 metres.

Proposta de redistribució per la configuració de platja de juny del 2004

L'estat en el què es troba la platja al juny del 2004 és un exemple claríssim de basculació deguda als temporals de llevant. De fet a l'octubre del 2003 hi va haver una gran llevantada documentada seguida de dos episodis més de l'est (febrer i abril del 2004). L'estat de la platja al juny d'aquell any era tal com el que mostra la Figura 65.



Figura 65. Configuració en planta de la platja pel juny del 2004. A l'esquerra (a) es representa l'àrea de sorra de color blau clar i de color marró la línia de costa de 40 metres d'amplada constant. A la dreta (b) es té en vermell l'àrea sobrant entre la línia de costa real i la d'amplada 40 m i en groc l'àrea deficitària que haurem d'omplir

Per tal de calcular el volum de sorra a redistribuir perquè tota la platja tingui com a mínim un ample de 40 metres, es dividirà la longitud de la platja en transectes com a l'estudi d'ortofotos (cada 60 metres) i per cada un d'aquests es buscaran les àrees necessàries per arribar a l'amplada de platja mínima de 40 m

(àrees rosa i vermella del perfil de càlcul). Finalment per calcular el volum entre perfils de diferents transectes s'usa la fórmula del trapezi.

Transecte	jun-04	Paràmetre a	A1	A2	Atotal	V (entre trans.)	V total
	[m]	[m]	[m2]	[m2]	[m2]	[m3]	[m3]
1	55,9	15,9	44,6	32,8	77,5		
2	97,2	57,2	160,0	117,7	277,8	10.658,2	
3	114,8	74,8	209,5	154,2	363,7	19.243,9	
4	103,8	63,8	178,7	131,4	310,1	20.213,8	
5	107,1	67,1	188,0	138,3	326,3	19.091,6	
6	93,9	53,9	150,9	111,0	261,9	17.643,7	
7	82,7	42,7	119,4	87,9	207,3	14.074,8	
8	72,1	32,1	89,8	66,1	155,9	10.895,4	
9	58,5	18,5	51,9	38,2	90,1	7.380,6	
10	47,8	7,8	21,8	16,0	37,8	3.838,6	
11	38,9	-1,1	-3,2	-2,3	-5,5	968,9	124.009,5
12	23,6	-16,4	-45,8	-33,7	-79,6	-2.552,7	
13	15,3	-24,7	-69,0	-50,8	-119,8	-5.981,7	
14	26,8	-13,2	-37,1	-27,3	-64,3	-5.524,6	
15	18,0	-22,0	-61,5	-45,3	-106,8	-5.134,9	
16	19,2	-20,8	-58,1	-42,8	-100,9	-6.231,0	
17	20,7	-19,3	-54,1	-39,8	-93,8	-5.841,5	
18	20,0	-20,0	-55,9	-41,2	-97,1	-5.727,8	
19	15,1	-24,9	-69,7	-51,3	-121,0	-6.541,3	
20	21,8	-18,2	-51,0	-37,5	-88,4	-6.282,1	
21	43,4	3,4	9,5	7,0	16,4	-2.159,9	-51.977,4

Taula 17. Volums a redistribuir pel cas de juny de 2004. Valors positius indiquen excés i negatius dèficits de sediment. De color vermell s'han marcat els transectes amb amplada inferior a 40 metres. Es denomina com a paràmetre "a" a la diferència entre l'ample real i el de 40 metres. A1 i A2 són l'àrea rosa i vermella del perfil de càlcul respectivament.

Sabent que s'han redistribuir uns 52.000 m³ de sediment i que es disposen de 124.000 m³, s'observa com es replanteja la línia de costa a la Figura 66.



Figura 66. Replanteig de la línia de costa pel cas de juny del 2004.

A la Figura 66, de color blau es mostra l'àrea final i de vermell la que sobra després d'aconseguir que tota la platja tingui com a mínim 40 metres d'amplada (línia lila). Això indica que hem mogut solament el volum estrictament necessari per a que tota la platja tingui un mínim de 40 metres d'amplada optimitzant el procés de redistribució.

Proposta de redistribució per la configuració de platja de març del 2014

S'ha escollit el cas de març del 2014 perquè és un clar exemple de platja basculada cap al nord-est. A la Figura 67 veiem l'acumulació a la zona nord i el gran dèficit de la zona sud. Es procedeix anàlogament:



Figura 67. Estat de la platja al març del 2014. A l'esquerra (a) es representa de color marró la línia de costa de 40 metres d'amplada constant. A la dreta (b) es té en vermell l'àrea sobrant entre la línia de costa real i la d'amplada 40 m i en groc l'àrea deficitària que haurem d'omplir

A continuació es mostren els volums de dèficit i d'excés de sorra pel cas de març del 2014. Es procedirà anàlogament que pel cas anterior. Cal destacar que per aquest cas els volums de dèficit (en negatiu a la Taula 18) es situen als primers transectes ja que la platja està basculada cap al nord.

Transsecte	mar-14	Paràmetre a	A1	A2	Atotal	V (entre trans.)	V total
	[m]	[m]	[m2]	[m2]	[m2]	[m3]	[m3]
1	-	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	
2	30,3	-9,7	-27,1	-19,9	-47,0	-1.409,2	
3	47,0	7,0	19,7	14,5	34,2	-383,5	
4	26,0	-14,0	-39,2	-28,9	-68,1	-1.016,4	
5	26,6	-13,4	-37,6	-27,7	-65,3	-3.999,6	
6	18,1	-21,9	-61,3	-45,1	-106,4	-5.150,7	
7	20,6	-19,4	-54,4	-40,0	-94,4	-6.024,1	
8	23,8	-16,2	-45,4	-33,4	-78,8	-5.194,6	
9	26,9	-13,1	-36,6	-26,9	-63,5	-4.267,4	
10	31,0	-9,0	-25,2	-18,5	-43,7	-3.214,1	
11	36,7	-3,3	-9,2	-6,8	-16,0	-1.790,2	-32.449,9
12	43,9	3,9	10,8	7,9	18,8	82,8	
13	54,5	14,5	40,6	29,9	70,5	2.677,6	
14	64,7	24,7	69,2	50,9	120,1	5.718,1	
15	69,8	29,8	83,4	61,4	144,8	7.947,9	
16	82,1	42,1	117,9	86,7	204,6	10.483,1	
17	92,6	52,6	147,3	108,4	255,8	13.810,9	
18	89,5	49,5	138,5	101,9	240,4	14.884,2	
19	87,3	47,3	132,3	97,3	229,7	14.101,2	
20	69,9	29,9	83,8	61,7	145,5	11.253,9	
21	54,6	14,6	40,9	30,1	71,0	6.493,5	87.453,3

Taula 18. Volums a redistribuir pel cas de març del 2014. Valors positius indiquen excés i negatius dèficits de sediment. De color vermell s'han marcat els transsectes amb amplada inferior a 40 metres

Per aquest cas, es necessita una redistribució d'uns 32.500 m³ de sorra i en disposem d'uns 87.450 m³. Per tant, es torna a tenir material suficient per a aquesta redistribució, concretament un 169% més. A la Figura 68 s'observa com queda la línia de costa un cop redistribuït el material.



Figura 68. Replanteig de la línia de costa pel cas de març del 2014. De color llima l'àrea final i de vermell la que sobra després d'aconseguir que tota la platja tingui com a mínim 40 metres d'amplada

8. CONCLUSIONS

Les zones costaneres són espais difícils de gestionar on conflueixen processos físics i humans. Pel cas de Lloret de Mar on hi ha una gran aflluència turística, aquestes zones són un dels grans reclams pels visitants. Concretament la platja, que és on se situa la frontera entre la zona terrestre i marítima, ha d'estar preparada per esmorteir els temporals i albergar la demanda de banyistes. Per tant, una bona gestió de la platja de Lloret ha de garantir un ample mínim de sorra per les funcions de protecció i recreativa.

S'ha demostrat com la Platja de Lloret, que es troba encaixada entre dos penya-segats, té un balanç sedimentari gairebé nul i es pot considerar que el sediment es conserva. La principal problemàtica que presenta és el fenomen de rotació o basculació que provoca acumulació o dèficit de sediment en un extrem o l'altre depenent de la direcció del temporal incident. S'ha observat a través de sèries d'onatge, ortofotos i documentació de l'ajuntament que és un fenomen recurrent produït principalment per temporals provinents de llevant (E) i migjorn (S). Encara que s'hagi observat aquest patró d'onatge bidireccional, la platja sol estar basculada cap al sud-oest corroborant la presència més gran d'onatge de l'est.

Controlar el fenomen de la basculació és un dels aspectes clau per garantir un ample mínim de platja i per això s'intenta neutralitzar aquesta problemàtica mitjançant diferents propostes de gestió. Les diferents alternatives que s'han analitzat en aquest estudi contempnen des de redistribucions de sorra de la mateixa platja fins a la construcció de mesures dures com espigons, dics exempts o dics submergits. Els criteris de decisió per escollir l'alternativa adient han estat quatre: i) que estabilitzi la línia de costa en episodis de basculació, ii) que sigui sostenible econòmicament, iii) que sigui sostenible en termes d'emissions de CO₂ i iv) que tingui el menor impacte social possible.

El concepte de l'Empremta de Carboni és encara un tema poc desenvolupat i que tant projectistes com constructors no tenen a l'ordre del dia. De totes maneres, arran de les cimeres mundials contra el canvi climàtic i els diversos protocols internacionals adoptats, serà properament un tema amb restriccions d'obligat compliment.

Aquesta tesina analitza l'empremta de Carboni a través del procediment *Cradle-to-Site* que té en compte les emissions des que s'extreuen les matèries primeres fins que es col·loquen al lloc de l'obra. S'ha pogut observar que les emissions estan directament relacionades amb el cost de les obres, ja que a l'incrementar l'envergadura d'aquestes, també augmenten les emissions degudes a la maquinària i la producció dels materials. En gairebé totes les alternatives, la principal font emissora és el transport terrestre del material fins a l'obra. En aquest àmbit, s'ha definit la distància òptima entre la pedrera i la zona d'obra a partir de la qual és més sostenible transportar la sorra d'aportació via terrestre o portar-la provinent de dragat. Llavors, si la pedrera es troba a menys de 10,5 km de la Platja de Lloret, es portarà la sorra d'aportació amb camions i si no es contemplarà el dragat. Les emissions degudes a la producció dels materials són més o menys constants per a totes les alternatives i es situen entre un 20% i 30% del total.

En l'estudi de l'Empremta de Carboni d'una determinada obra mitjançant el software TCQ, és important definir uns processos constructius adequats i adoptar valors de quantitat de maquinària coherents. En aquest text s'han contemplat només obres amb construcció íntegra des de terra a partir de la "Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas" i la quantitat de maquinària s'ha adaptat per al cas d'estudi de partides existents d'obres similars.

L'alternativa que s'ha definit com a òptima es basa en la que s'està duent a terme actualment amb la introducció d'algunes modificacions. La gestió actual de la platja de Lloret consisteix en una redistribució sense un criteri clar del propi sediment de la platja de les zones amb excés de sediment a les deficitàries quan hi ha hagut temporals molt intensos. Aquesta redistribució es fa just abans de l'inici de la temporada estival per tal que s'hi puguin oferir els serveis turístics. S'observa doncs una gestió de la platja de caràcter correctiu i enfocada només en la temporada turística. En el cas que es donessin dos temporals seguits es poden produir grans pèrdues ja que el primer temporal fa bascular a la platja permetent que el segon impacti directament sobre les estructures del passeig.

L'alternativa que es proposa consisteix a mantenir sempre un ample mínim de platja que li permeti exercir la funció de protecció sense col·lapsar. Aquest ample mínim, que se situa entre 30 i 40 metres, ha estat calculat pel Laboratori d'Enginyeria Marítima de la UPC (LIM) tenint en compte l'històric de temporals. Llavors, sempre que un temporal faci disminuir l'ample de platja a un valor inferior al mínim establert, es redistribuirà sorra mitjançant camions i pales per aconseguir la configuració desitjada. Un aspecte potent d'aquesta alternativa és que es calcularà exactament la quantitat de sorra que es necessita per aconseguir la configuració desitjada i no es mourà més sorra de la necessària. Aquesta alternativa exigeix un control continu de la forma en planta de la platja així com aconseguir permisos cada cop que es vulgui actuar.

L'alternativa escollida és la tercera més barata en termes monetaris i en emissions de CO₂ amb un cost d'uns 840.000€ i 3.400 tones de CO₂ emesos per un període de 25 anys. Les dades s'han calculat tenint en compte les basculacions detectades en els últims anys obtenint una ràtio de 0,54 basculacions/any. En un hipotètic cas més desfavorable en el que la ràtio fos de dues basculacions cada tres anys, l'alternativa seguiria sent acceptable amb un 40% més d'emissió que la segona alternativa millor valorada i un cost només un 5% superior.

Totes les alternatives es calculen per una gestió de 25 anys, ja que és la vida útil mínima prevista per una obra marítima segons la ROM 0.0. De totes maneres, l'experiència ens mostra com sovint les estructures marítimes perden part de la seva funcionalitat abans de complir els 25 anys, fet que ratifica la nostra elecció que ha estat calculada per un nombre de redistribucions en un interval de temps de 25 anys.

Un pas més enllà seria incloure models meteorològics i de predicció d'onatge en la gestió proposada en aquesta tesina. Amb una predicció a 10 dies vista com les que ofereixen els models actuals, es podria decidir si seria necessari moure sediment o no. En altres paraules, després d'haver patit un temporal que hagués fet rotar la platja no es redistribuiria sediment fins que el model detectés un temporal. Llavors es disposaria de 10 dies per obtenir la configuració adequada perquè la platja fos capaç de protegir el hinterland. En cas que no es detectés cap temporal, es deixaria recuperar la platja de forma natural estalviant-nos una redistribució.

9. REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Almar, R., Coco, G., Bryan, K. R., Huntley, D. A., Short, A. D., & Senechal, N. (2008). Video observations of beach cusp morphodynamics. *Marine geology*, 254(3), 216-223.

BEDEC. (2017). Contingut i criteris. Institut de Tecnologia de la Construcció de Catalunya.

Comissió Europea. (2004). Living with Coastal Erosion in Europe - Sediment and Space for Sustainability. Part I - Major Findings and Policy Recommendations of the EUROSION Project. *Official Publications of the European Communities*, Luxembourg, 54 pp.

Daly, C. J., Bryan, K. R., Roelvink, J. A., Klein, A. H. F., Hebbeln, D., & Winter, C. (2011). Morphodynamics of embayed beaches: the effect of wave conditions. *Journal of Coastal Research*, (64), 1003.

del Estado, P. (2001). Rom 0.0, Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias. *Ministerio de Fomento*.

del Estado, P. (Ed.). (2008). Guía de buenas prácticas para la ejecución de obras marítimas. Puertos del Estado.

Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente. (2008). Directrices sobre actuaciones en playas.

Departament de Política Territorial i Obres Públiques. (2010). Llibre Verd de la costa catalana. Capítol I, II i III.

Dolphin, T. J., Vincent, C. E., Wihsgott, J., Belhache, M., & Bryan, K. R. (2011). Seasonal rotation of a mixed sand-gravel beach. *Journal of Coastal Research*, 51, 65-69.

FCC Construcción. (2015). Informe de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero 2015.

Gallop, S. L., Bryan, K. R., & Coco, G. (2009). Video observations of rip currents on an embayed beach. *Journal of Coastal Research*, 49-53.

González, M., & Medina, R. (2001). On the application of static equilibrium bay formulations to natural and man-made beaches. *Coastal Engineering*, 43(3), 209-225.

Gracia, V., Valdemoro, H. I., Mendoza, E. T., Sánchez-Arcilla, A., & Jiménez, J. A. (2008). Coastal protection issues in bayed beaches. The importance of shoreline tilting. In *Proceedings of the Littoral* (p. 1e9).

Harley, M. D., Turner, I. L., Short, A. D., & Ranasinghe, R. (2011). A reevaluation of coastal embayment rotation: The dominance of cross-shore versus alongshore sediment transport processes, Collaroy-Narrabeen Beach, southeast Australia. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 116(F4).

Hsu, J. R. C., & Evans, C. (1989). Parabolic bay shapes and applications. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, 87(4), 557-570.

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.

Klein, A. H., Ferreira, Ó., Dias, J. M., Tessler, M. G., Silveira, L. F., Benedet, L., ... & de Abreu, J. G. (2010). Morphodynamics of structurally controlled headland-bay beaches in southeastern Brazil: a review. *Coastal Engineering*, 57(2), 98-111.

Labrujere, A. L., & Verhagen, H. J. (2012). Analysis of the carbon footprint of coastal protection systems. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(33), 78.

Masselink, G., & Pattiaratchi, C. B. (2001). Seasonal changes in beach morphology along the sheltered coastline of Perth, Western Australia. *Marine Geology*, 172(3), 243-263.

Osaza, H., & Brampton, H. (1980). Mathematical modeling of shoreline evolution. *Coastal Engineering*, 4, 47-64.

Rondón Ramírez, G. A. (2011). Análisis de la variación temporal de la línea de costa y caracterización de la geomorfología litoral de Bahía de Paita, Perú 1946-2007.

SENDECO2 (2017). Precios CO2. Recuperat de: <http://www.sendeco2.com/es/>

Sistema Nacional de Información Ambiental (SINIA). (2015). ¿Qué es el mercado del Carbono?. Recuperat de: <http://www.sinia.cl/1292/w3-article-48293.html>

Thieler, E. R., Himmelstoss, E. A., Zichichi, J. L., & Ergul, A. (2009). *The Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0-an ArcGIS extension for calculating shoreline change* (No. 2008-1278). US Geological Survey.

Thomas, T., Williams, A., Rangel-Buitrago, N., Phillips, M., & Anfuso, G. (2016). Assessing Embayed Equilibrium State, Beach Rotation and Environmental Forcing Influences; Tenby Southwest Wales, UK. *Journal of Marine Science and Engineering*, 4(2), 30.

Valdemoro García, H. (2005). *La influencia de la morfodinámica en los usos y recursos costaneros*. Universitat Politècnica de Catalunya.

Wiedmann, T., & Minx, J. (2007). A definition of 'carbon footprint'. ISA Research and Consulting, Durham, United Kingdom, viewed 28th August 2008.

Yepes, V., Medina, J. R., (2007). Gestió ambiental de platges encaixades. El cas de Lloret de Mar. Gestió de playes encaixades de uso intensivo. *Libro de Resúmenes de las IX Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos*, 175-176.8