

Juliol 2022

PROTECCIÓ DEL LITORAL I LES PLATGES METROPOLITANES.

Estudis previs de
la dinàmica litoral
del sud metropolità

Estudis previs de la dinàmica litoral del sud metropolità



Equip redactor

José J. Jiménez, LIM-UPC

Col·laboració

Màrius Tomé, Ecosost

Coordinació

Aleix Coral, Barcelona Regional

© Edició Barcelona Regional

© Imatge de la portada ICGC

© Imatges LIM-UPC

Barcelona, març del 2022

Índex

1. INTRODUCCIÓ	5
2. DADES I METODOLOGIA D'ANÀLISI	6
2.1. Dades disponibles	6
2.2. Mètode d'anàlisi	9
2.2.1. Línies de vora a partir de fotografia aèria (1990-2020)	9
2.2.2. Amplades de platja mensuals (2001-2021)	14
3. EVOLUCIÓ DE LA LÍNIA DE VORA	14
3.1. Introducció	14
3.2. Evolució general de la línia de vora.....	14
3.3. Evolució a curt termini de la línia de vora.....	35
3.4. Balanç sedimentari en condicions actuals.....	40
3.5. Evolució a llarg termini de la línia de costa	43
4. PROBLEMÀTICA I ESTRATÈGIES D'ACTUACIÓ	46
4.1. Model de funcionament de la costa del delta del Llobregat	46
4.2. Diagnòstic de la problemàtica a la costa del delta del Llobregat	48
4.2.1. TM del Prat de Llobregat	49
4.2.2. TM de Viladecans	53
4.2.3. TM de Gavà	54
4.2.4. TM de Castelldefels	55
4.2.5. TM de Sitges.....	56
4.3. Estratègies d'actuació a la costa del delta del Llobregat	57
4.3.1. Cel·la costanera total	57
4.3.2. TM del Prat de Llobregat	58
4.3.3. TM Viladecans	59
4.3.4. TM Gavà	60
4.3.5. TM de Castelldefels	61
4.3.6. TM de Sitges.....	61
5. REFERÈNCIES	62

ANNEX 1 Evolució de la línia de riba durant el període 1990-2020

1. INTRODUCCIÓ

La costa del delta del Llobregat forma una cel·la litoral compresa entre el port de Barcelona, al NE, i port Ginesta, al SW. Aquesta cel·la es caracteritza per tenir un sediment fi, originalment aportat pel riu Llobregat, que està sotmès a un règim de transport longitudinal net en direcció E-W sota l'acció d'un onatge dominant de component E. En condicions naturals, la línia de vora ha anat retrocedint a l'extrem N i avançant al S degut als gradients en el transport longitudinal, tant d'origen natural (canvis en l'orientació de la línia de costa) com d'origen antròpic (diferents pertorbacions en la cel·la).

Sobre aquest comportament general, es produeixen fluctuacions que localment poden assolir valors significatius. Quan aquestes fluctuacions coincideixen amb zones de platja relativament estretes, pot donar-se el cas que, en un instant determinat, la zona quedi exposada a l'acció de l'onatge durant temporals i que, consegüentment, es produeixin danys que poden arribar a ser significatius.

En aquest context, aquest informe tècnic és una actualització i ampliació dels *Estudis previs per a l'estabilització de les platges de Gavà i Viladecans*, de desembre del 2019, realitzats arran de les fortes erosions que s'havien detectat a les costes de Gavà i Viladecans i en què s'analitzava l'evolució de la línia de costa del delta del Llobregat. Des de la redacció s'han estès afeccions importants a totes les platges del delta, cosa que ha motivat l'elaboració d'aquest document. D'aquesta manera, en aquest informe s'analitza la totalitat del tram costaner que s'estén des de la desembocadura del riu Llobregat fins al port Ginesta i l'evolució de la línia de vora des del 1990 fins al 2020, s'identifiquen les zones crítiques i els problemes que hi ha relacionats amb l'estabilitat costanera, i es proposen estratègies d'actuació que puguin resoldre la problemàtica que s'ha identificat.

Els resultats es presenten en aquest informe únic, que adopta l'estructura següent: (i) al capítol 2 es descriuen les dades que s'han analitzat i la metodologia d'anàlisi; (ii) al capítol 3 es poden veure els resultats que s'han obtingut, i (iii) al capítol 4 es caracteritza la problemàtica i s'estableixen les estratègies d'adaptació possibles.

2. DADES I METODOLOGIA D'ANÀLISI

En aquest capítol es presenten les dades que s'han utilitzat per a caracteritzar l'evolució de la línia de costa al llarg de la cel·la litoral del delta del Llobregat, així com el mètode d'anàlisi que s'ha emprat.

2.1. Dades disponibles

En aquest treball s'han fet servir dos conjunts de dades per a caracteritzar l'evolució de la línia de costa a la cel·la litoral del delta del Llobregat:

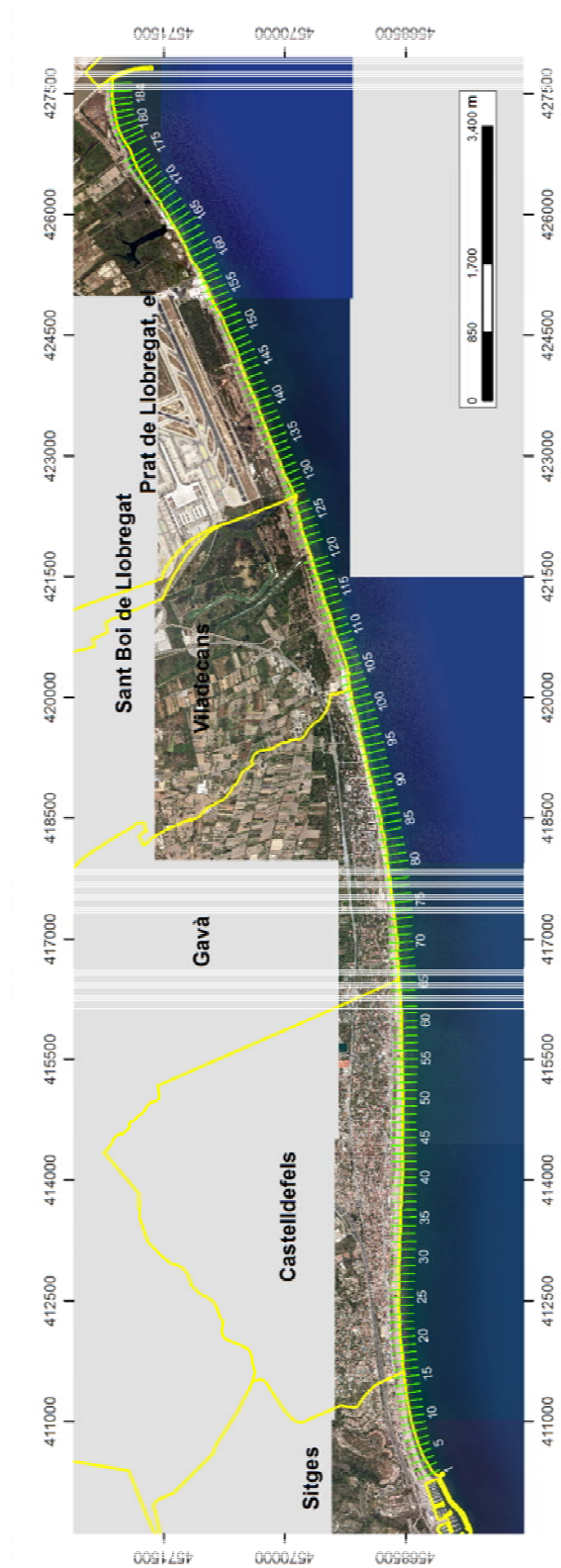
- El primer conjunt de dades consisteix en una col·lecció de línies de vora que cobreix el període 1990-2020. Aquestes dades s'han obtingut a partir de la digitalització de fotografies aèries capturades per l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC) i, addicionalment, s'ha emprat alguna línia obtinguda pel Centre d'Estudis i Experimentació d'Obres Públiques (CEDEX). Els anys disponibles són els següents: 1990, 1995, 2000, 2004, 2006, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019 i 2020.

El segon conjunt correspon als amidaments d'amplades de platja que l'Àrea Metropolitana de Barcelona (AMB) ha portat a terme en una sèrie de localitzacions al llarg de la costa del Llobregat amb una periodicitat mensual, entre el 2001 i el 2021. Els perfils de control en què s'han pres aquests amidaments es poden veure a la Figura 1. Localització dels perfils de control al llarg de la costa del delta del Llobregat als quals s'ha realitzat un seguiment mensual per part de l'AMB des del 2001 fins al 2021



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 2. Localització de punts de control per a l'anàlisi d'evolució de línia de vora a llarg termini a partir de l'anàlisi de fotografia aèria des del 1990 fins al 2020



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

• .

2.2. Mètode d'anàlisi

L'anàlisi de l'evolució de la línia de costa al llarg de la cel·la litoral s'ha fet de manera diferenciada amb cadascun dels conjunts de dades disponibles.

2.2.1. Línies de vora a partir de fotografia aèria (1990-2020)

Un cop es tenen disponibles totes les línies de vora des del 1990 fins al 2020, el primer pas per a estimar els desplaçaments a la línia de vora és definir una línia de control resseguint l'orientació principal de la línia de costa, a partir de la qual es generaran els punts de control en els quals s'estimaran els canvis. En aquest estudi s'han pres els punts de control amb un espaïament de 100 m al llarg de la línia de vora (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

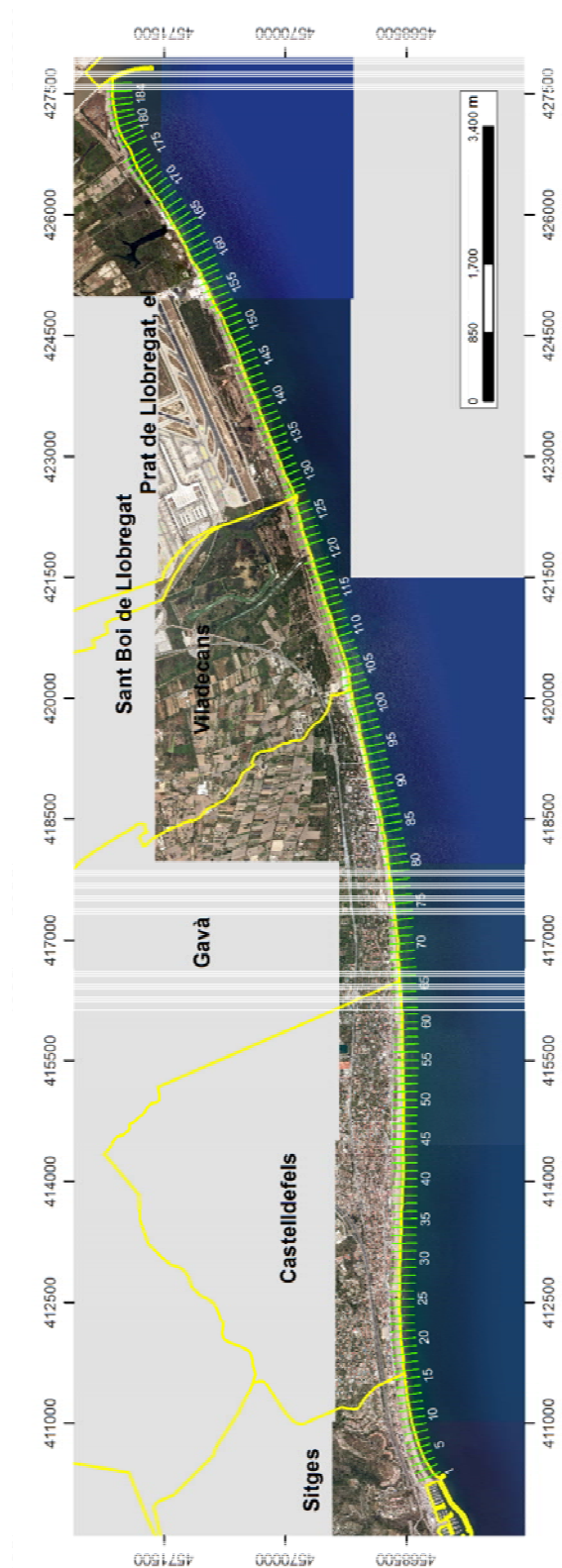
Un cop definida la línia i els punts de control, es calcula la distància a què es troba cadascuna de les línies de vora disponibles en cada punt de control per a cada instant de temps; és a dir, s'obté un conjunt de sèries temporals de desplaçaments de la línia de vora. El procés s'ha realitzat utilitzant el sistema d'informació geogràfica ArcGIS 10.3 (ESRI), juntament amb l'aplicació d'anàlisi dels canvis històrics de línies de vores. A partir d'aquestes sèries s'obté la taxa d'evolució de la línia de vora segons diferents mètodes de càlcul, mitjançant l'aplicació DSAS (Digital Shoreline Analysis System) desenvolupada per la USGS (Himmelstoss *et al.*, 2018). Els mètodes que hi ha per a estimar les taxes evolutives de la línia de costa varien tant depenent dels objectius que es volen aconseguir com de la disponibilitat de dades (p. ex., Dolan *et al.*, 1991; Fenster *et al.*, 1993). Dins dels diferents tipus d'estimació de les taxes que existeixen, n'hi ha dos de principals: *increment net* (EPR, per les sigles en anglès d'*end point rate*) i *regressió lineal* (LR).

Figura 1. Localització dels perfils de control al llarg de la costa del delta del Llobregat als quals s'ha realitzat un seguiment mensual per part de l'AMB des del 2001 fins al 2021



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

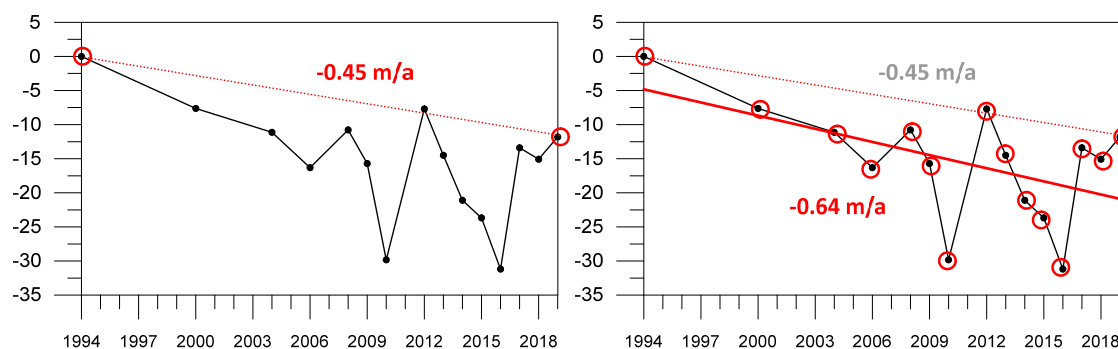
Figura 2. Localització de punts de control per a l'anàlisi d'evolució de línia de vora a llarg termini a partir de l'anàlisi de fotografia aèria des del 1990 fins al 2020



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

L'increment net o *mètode EPR* utilitza únicament dues posicions de la línia de vora, l'última i la primera disponibles, sense tenir en compte totes les intermèdies. La taxa evolutiva correspondria al desplaçament net experimentat entre ambdues situacions durant el temps transcorregut. El mètode és útil quan l'únic objectiu és estimar el desplaçament experimentat per una costa en un període de temps determinat sense entrar en consideracions pel que fa a possibles variacions en la tendència; és a dir, quan es vol avaluar en termes estrictes el retrocés o avançament de la línia de costa. El principal inconvenient és que, en descartar possibles variacions en el moviment de la línia de costa entre les dues posicions, la capacitat predictiva (en termes de representativitat del comportament descrit) és relativament limitat, sobretot en costes on hi hagi moltes fluctuacions. Tanmateix, en el cas que la costa objecte d'estudi experimenti una evolució monòtona (p. ex., erosió o acreció continuada a una taxa relativament uniforme) el valor es podrà considerar com a representatiu de la tendència.

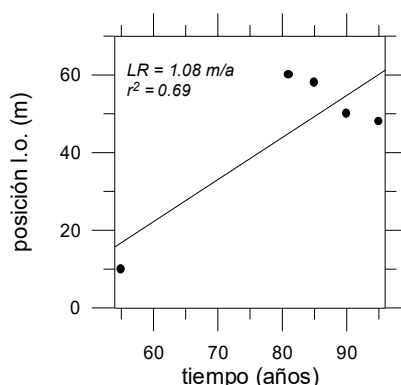
Figura 3. Estimació de la taxa evolutiva de la línia de costa mitjançant els mètodes EPR (esq.) i LR (dta.) [Els punts marcats en vermell indiquen les posicions considerades en el càlcul de la taxa.]



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

El *mètode LR* utilitza la totalitat de les posicions de la línia de vora disponibles, i la taxa evolutiva s'obté mitjançant una regressió lineal per mínims quadrats utilitzant el desplaçament de la línia de costa com a variable dependent. L'avantatge del mètode radica en el fet que, utilitzant totes les dades, es tenen en compte les possibles variacions en el comportament al llarg del temps i, alhora, es filtren les oscil·lacions de curt període. Els desavantatges estarien associats a la tècnica estadística en si mateixa i consistirien, sobretot, en estimacions esbiaixades quan les dades estan mal condicionades (Figura 4). En el cas de costes amb un comportament monòton, la taxa estimada mitjançant l'LR seria molt semblant a la taxa obtinguda mitjançant l'EPR (com el cas de la Figura 3, gràfica esq.).

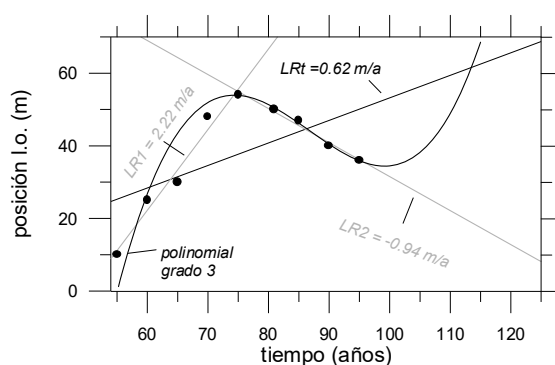
Figura 4. Estimació hipotètica de la taxa evolutiva de la línia de costa mitjançant el mètode LR per a un conjunt de dades mal condicionat (efectes d'un clúster de dades)



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Independentment del mètode utilitzat, es pot donar el cas que les dades variïn el comportament al llarg del temps. Aquesta situació normalment correspon a algun fenomen o actuació rellevant a la costa objecte d'estudi que impliqui un canvi en les condicions evolutives (Figura 5). En aquests casos, alguns autors proposen la utilització de models d'estimació no lineals, tant per a estimar el moment en què es produeix aquest canvi com per a avaluar les taxes per a la totalitat del període (p. ex., Fenster *et al.*, 1993). Tanmateix, com que en alguns casos l'ús de models no lineals pot produir el que s'anomena un sobreajustament —*overfitting*— (Figura 5), altres autors proposen continuar utilitzant l'LR, tot i que de manera diferenciada segons el període evolutiu que s'hagi d'analitzar (Crowell *et al.* 1997).

Figura 5. Estimació de la taxa evolutiva de la línia de costa quan hi ha un canvi de comportament [Es pot observar el sobreajustament quan s'utilitza l'ajustament no lineal —grau 3— a partir de l'última dada disponible.]



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

En aquest estudi, d'una banda, per a avaluar el comportament evolutiu experimentat al llarg de la cel·la costanera del delta del Llobregat, es fan servir els dos mètodes (LR i EPR); i de l'altra, per a tenir en compte els possibles canvis en el comportament a causa d'una modificació de les condicions de contorn de l'emplaçament, s'han analitzat tres períodes: (i) del 1990 al 2020, (ii) del 1990 al 2006 i (iii) del 2006 al 2020. L'elecció d'aquests períodes és per a tenir en compte el canvi més important en la configuració de la zona, que es produeix el 2006 quan finalitzen les obres de la nova desembocadura del riu Llobregat, amb la platja artificial al marge dret plenament desenvolupada (Figura 6). Des d'aquell moment, la condició de contorn nord de la cel·la queda establerta. Com que a l'informe anterior el comportament del tram durant el període des del 1990 fins al 2006 va ser cobert degudament, aquí només es cobrirà el període actual, és a dir, un cop es van establitzar les condicions de contorn del tram (del 2006 en endavant).

Figura 6. Configuració de la rodalia de la desembocadura (actual) del riu Llobregat el 1993 (esq.) i el 2006 (dta.)



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

2.2.2. Amplades de platja mensuals (2001-2021)

En el cas de les dades mensuals d'amplada de platja, s'han estimat també les taxes segons els mètodes anteriors (LR i EPR) per a veure si la inclusió de més dades intermèdies porta a una definició més bona del comportament evolutiu. Addicionalment, un cop observat el comportament de les dades, s'ha optat per incloure una anàlisi més detallada de les sèries temporals per a determinar la presència d'ones morfològiques al llarg de la costa. Per a fer-ho, s'ha realitzat una anàlisi de correlació entre les diferents localitzacions al llarg de la costa que permeti identificar la propagació d'aquestes ones.

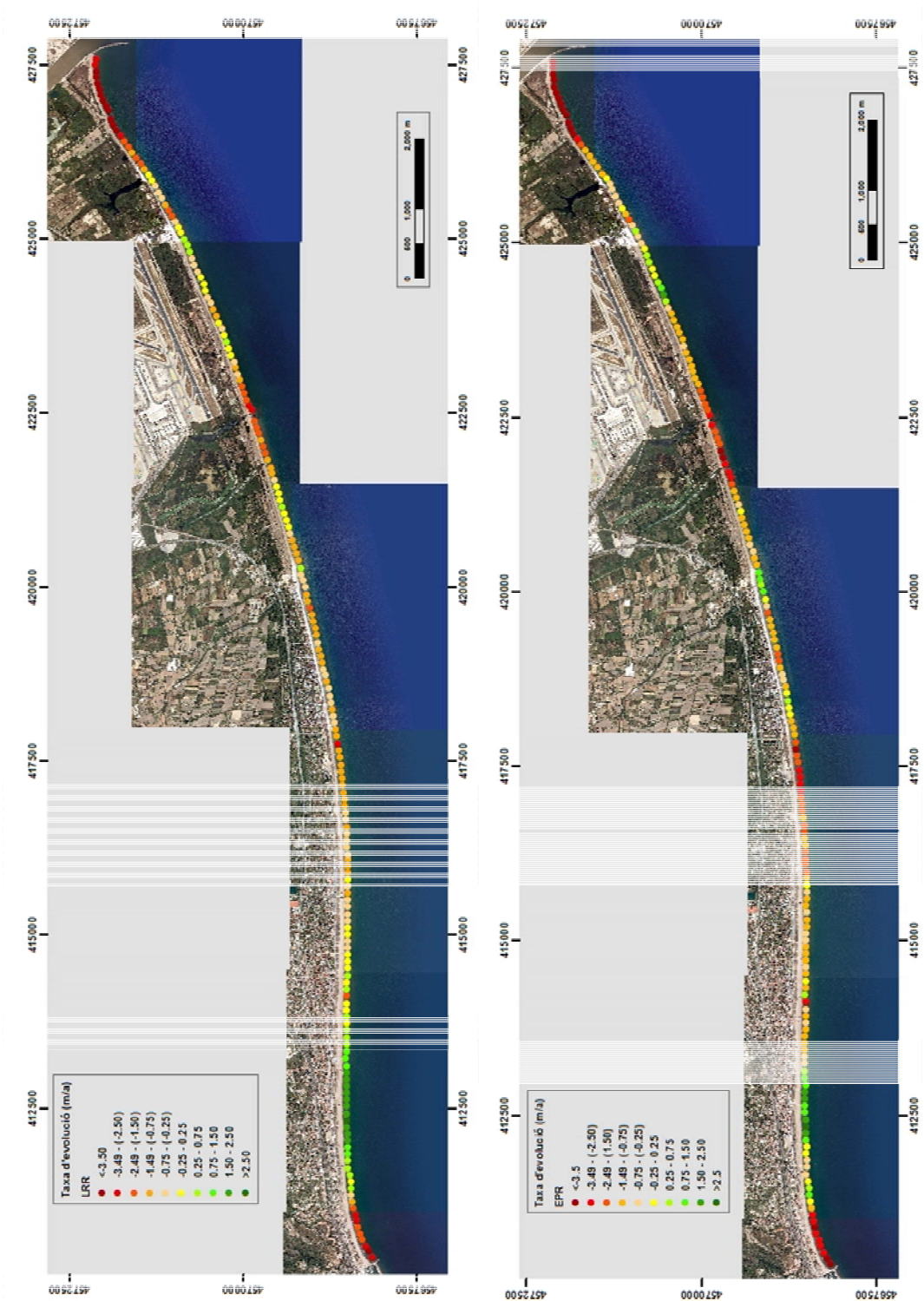
3. EVOLUCIÓ DE LA LÍNIA DE VORA

3.1. Introducció

En aquest capítol es presenta una actualització dels resultats obtinguts en l'informe que s'ha citat anteriorment (*Estudis previs per a l'estabilització de les platges de Gavà i Viladecans*, de desembre del 2019) en relació amb l'evolució recent de la línia de vora al llarg de la cel·la costanera del delta del Llobregat a partir de les dades que s'han presentat en el capítol 2. Tal com s'ha esmentat, en aquest informe només es cobreix el període actual, un cop establertes les condicions de contorn del tram, és a dir, del 2006 en endavant.

3.2. Evolució general de la línia de vora

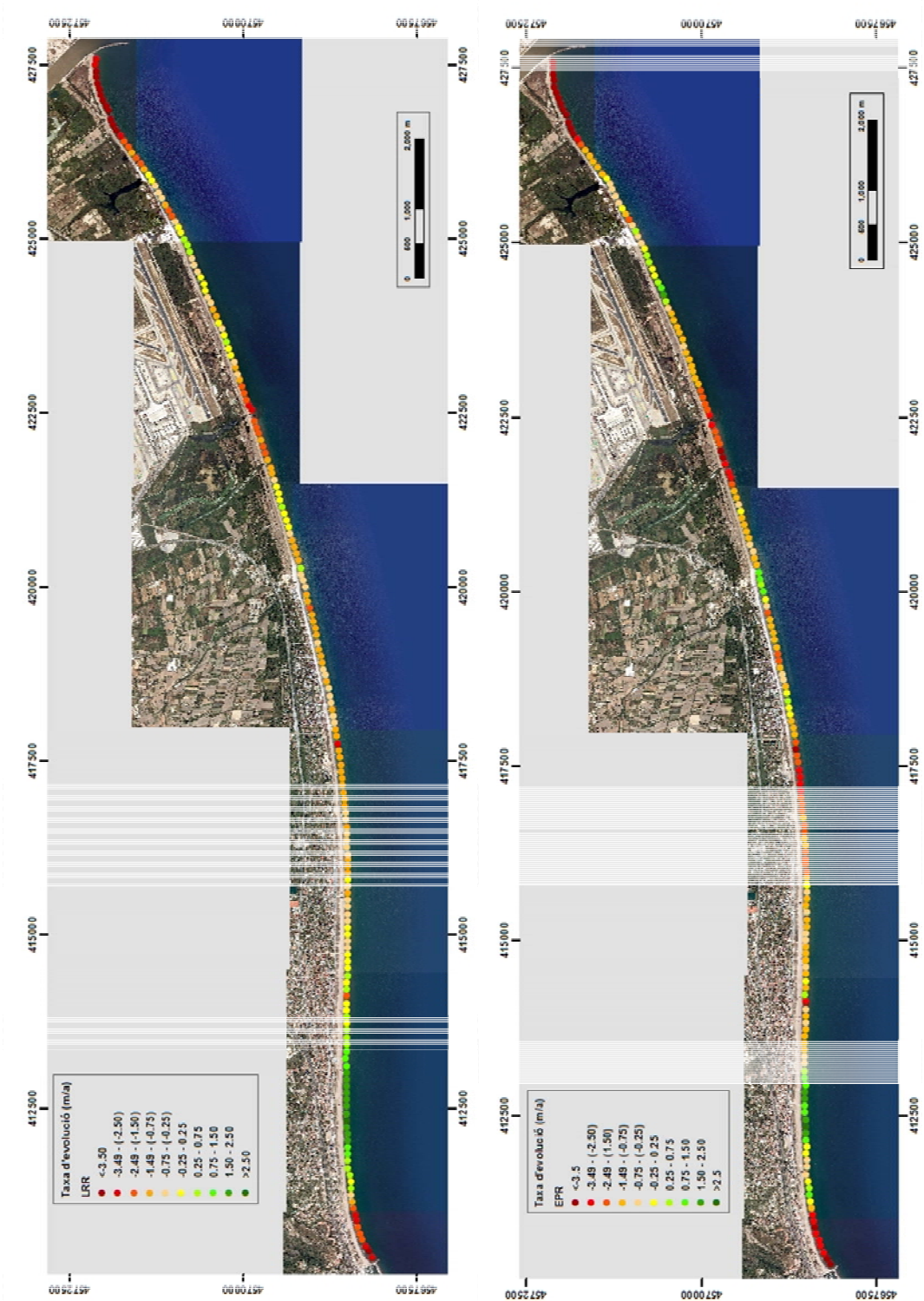
A la Figura 7. Taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat a partir de les dades de fotografia aèria durant el període 2006-2020 (esq.: regressió lineal, LR; dta.: canvi net, EPR)



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

es pot veure l'evolució de la línia de costa del Delta des del 2006 fins al 2020, mentre que a la Figura 8 es pot veure la comparació de les dues taxes. Aquesta última figura s'ha caracteritzat a partir de les taxes evolutives que s'han obtingut mitjançant els dos mètodes descrits en el capítol 2 (l'LR i l'EPR). L'evolució de la línia de vora en cadascun dels perfils de control es presenta a l'annex I. L'estadística de les taxes evolutives al llarg de la cel·la per a cadascun d'aquests períodes es presenta a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

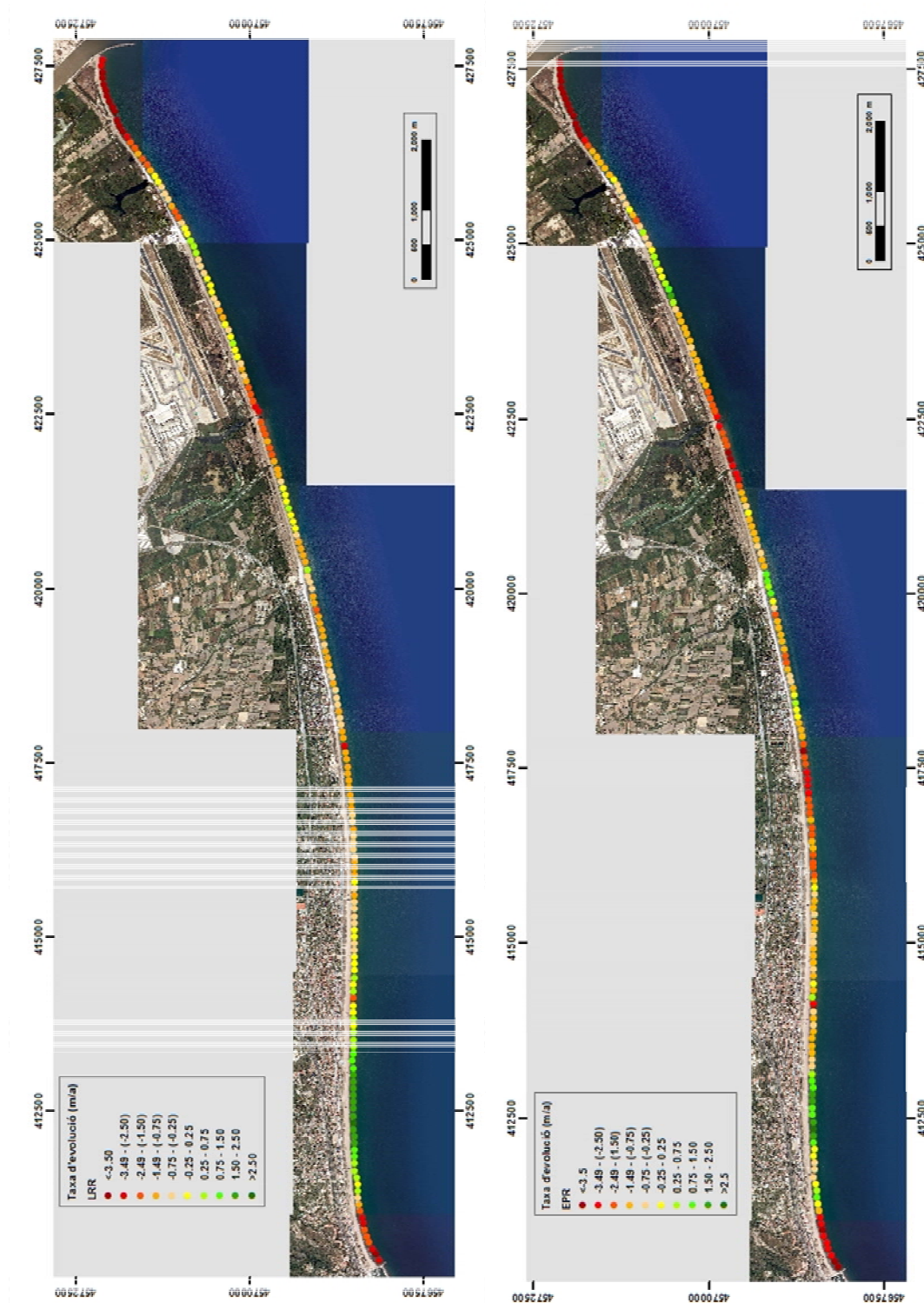
El comportament dominant al llarg del tram durant aquest període és erosiu, tot i que s'observen algunes zones en què s'ha produït un avançament de la línia de vora (Figura 7. Taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat a partir de les dades de fotografia aèria durant el període 2006-2020 (esq.: regressió lineal, LR; dta.: canvi net, EPR)



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

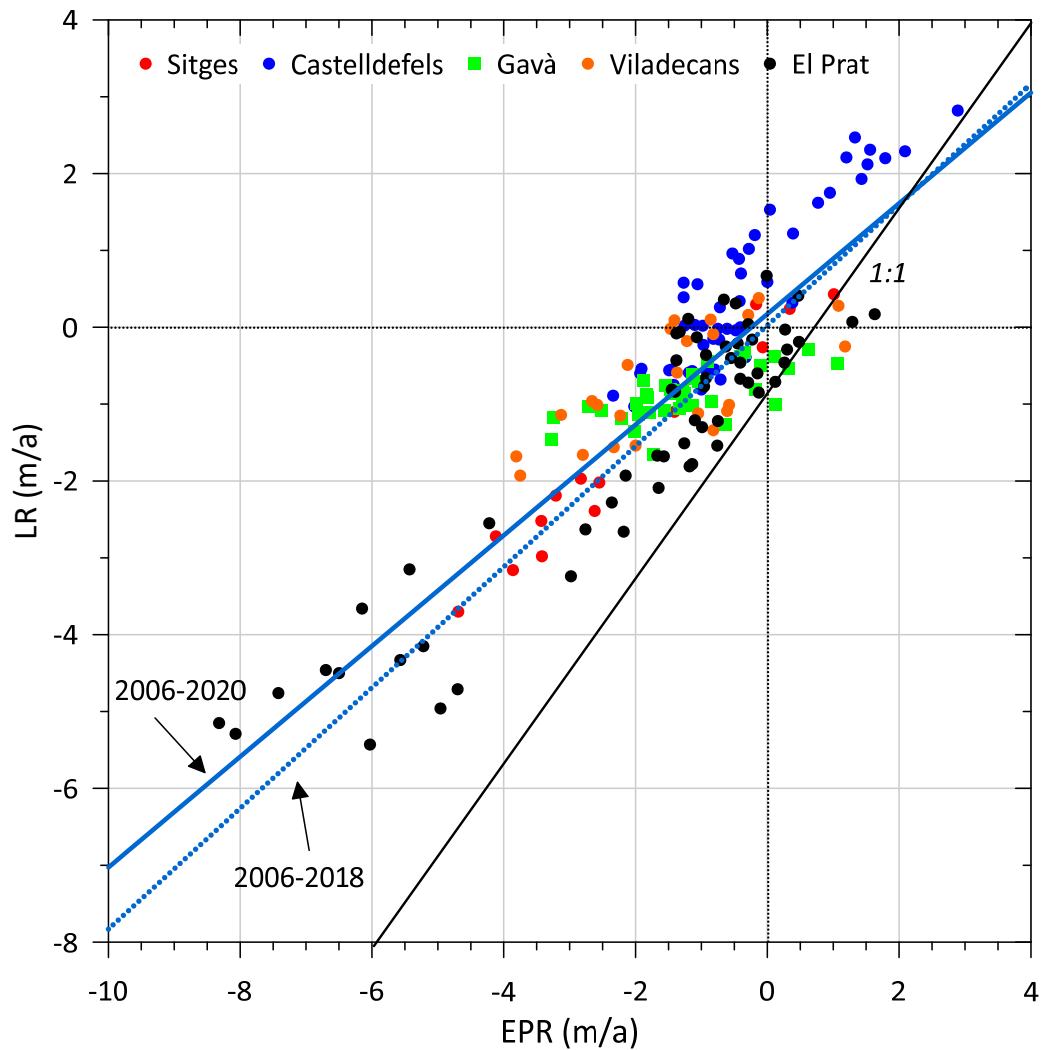
). L'anàlisi mitjançant ambdós mètodes prediu un mateix tipus de comportament, que és un patró característic en costes en què el transport longitudinal de sediment exerceix un paper significatiu en l'evolució. Tanmateix, des del punt de vista quantitatiu, les dues taxes difereixen, sobretot quan l'evolució es caracteritza a partir de l'increment net (EPR) (Figura 8) i especialment quan la data final és el 2020, quan s'aprecia l'augment de l'erosió de manera puntual per l'efecte del temporal Gloria (vegeu també el comportament perfil a perfil a l'annex I).

Figura 7. Taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat a partir de les dades de fotografia aèria durant el període 2006-2020 (esq.: regressió lineal, LR; dta.: canvi net, EPR)



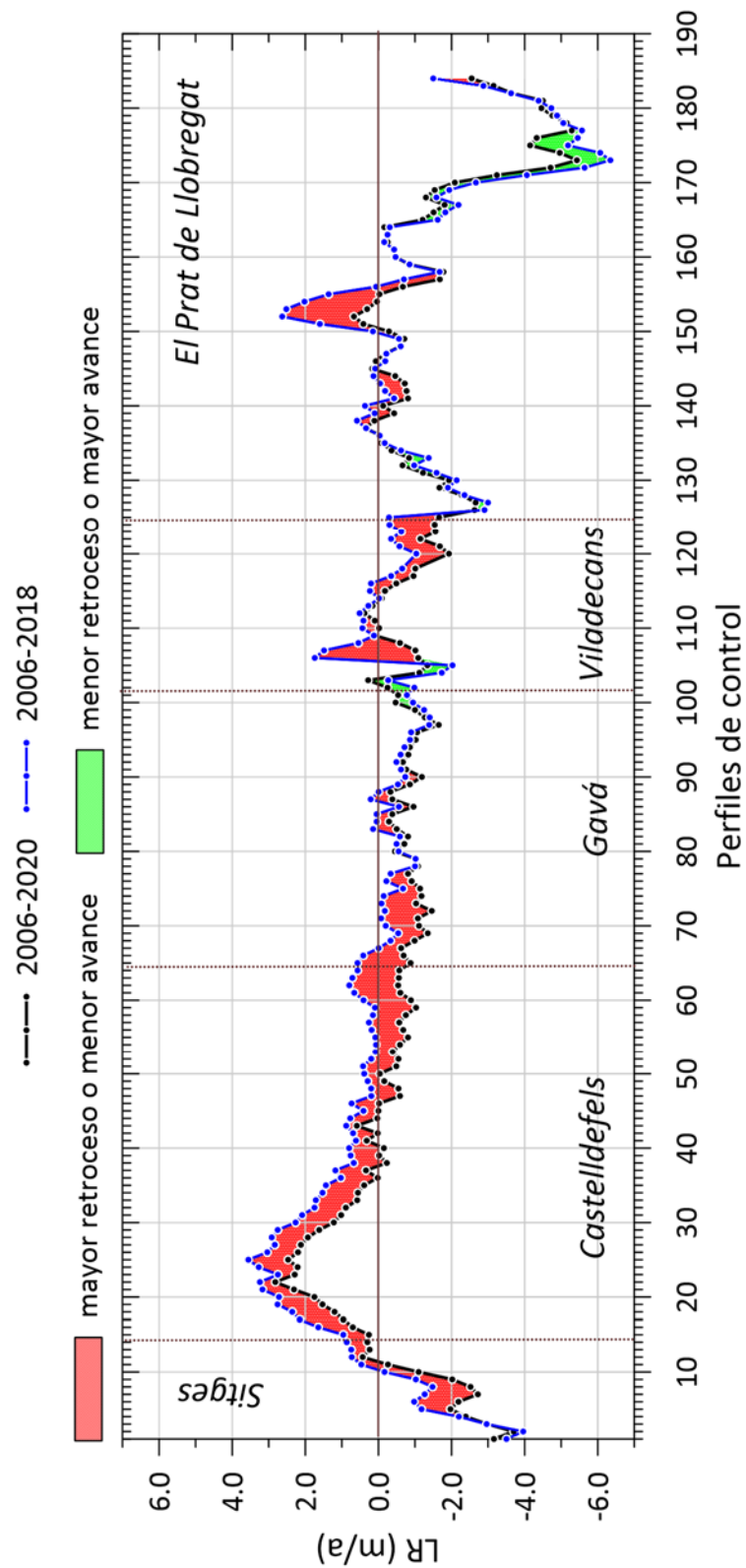
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 8. Taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat calculades mitjançant la regressió lineal (LR) vs. mitjançant l'increment net (EPR) durant el període 2006-2020



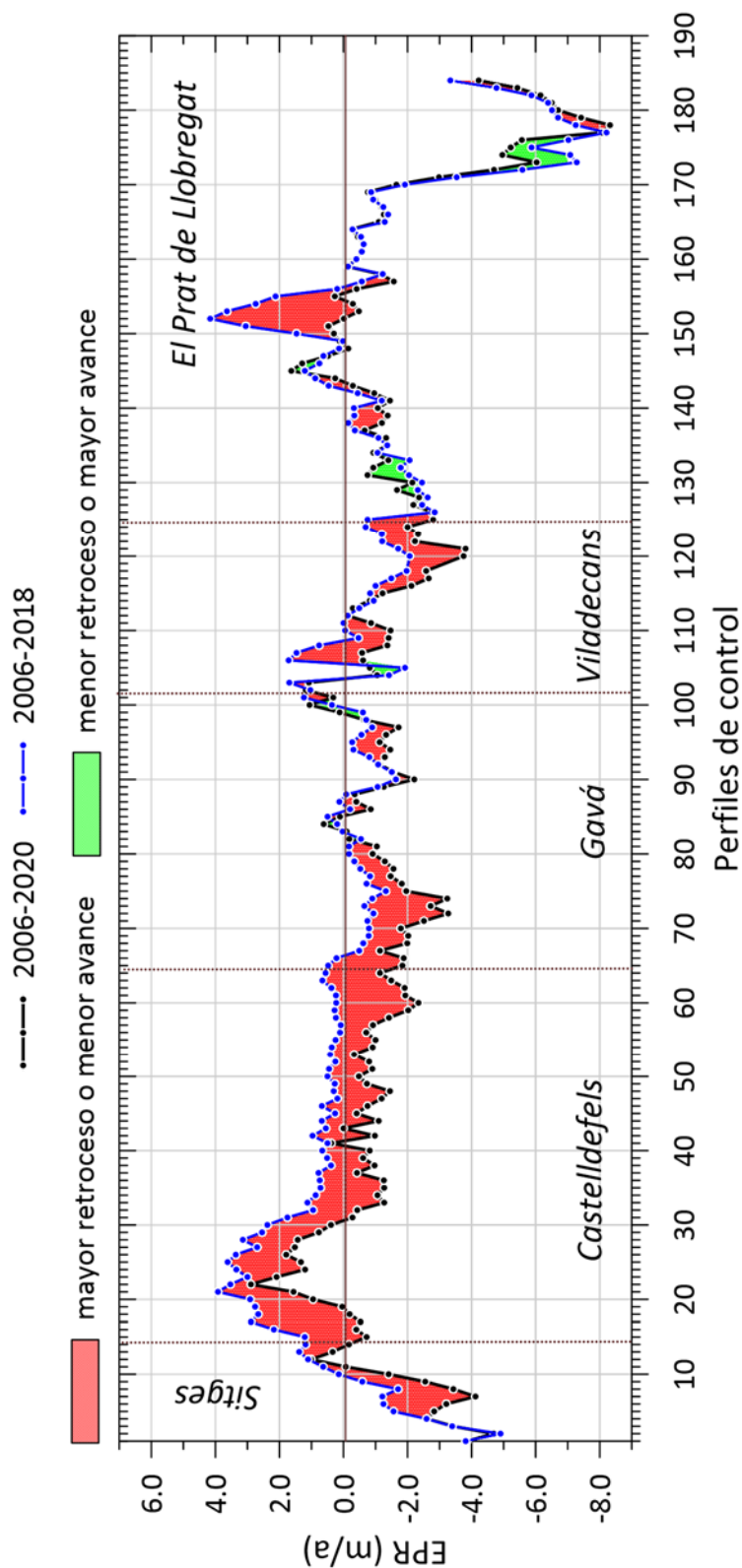
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

A la Figura 9. Evolució de les taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat a partir de les dades de fotografia aèria mitjançant regressió lineal (LR) durant els períodes 2006-2018 i 2006-2020



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

i a la Figura 10. Evolució de les taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat a partir de les dades de fotografia aèria mitjançant l'increment net (EPR) durant els períodes 2006 -2018 i 2006-2020



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

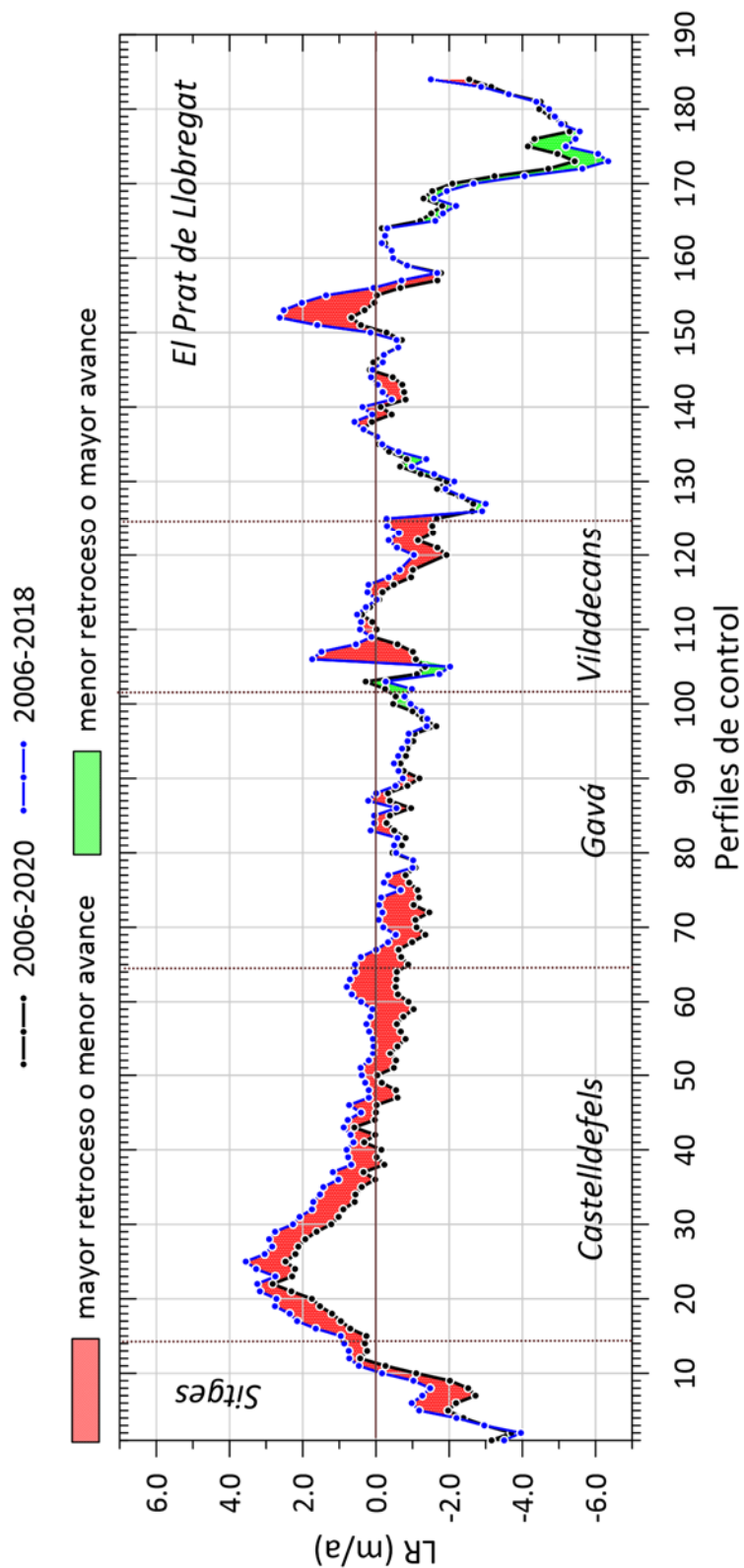
Taula 1. Taxes evolutives mitjanes de la línia de vora al llarg de tota la cel·la costanera del delta del Llobregat i de cadascun dels trams que pertanyen als diferents municipis

	LR		EPR	
	2006-2018	2006-2020	2006-2018	2006-2020
Tota la cel·la costanera				
mitjana	-0,3	-0,8	-0,4	-1,3
màx.	3,6	2,8	4,2	2,9
mín.	-6,3	-5,4	-8,2	-8,3
desv. est.	1,9	1,5	2,2	1,8
Sitges				
mitjana	-1,1	-1,7	-1,2	-2,2
màx.	0,9	0,4	1,4	1,0
mín.	-4,0	-3,7	-4,9	-4,7
desv. est.	1,5	1,3	1,9	1,8
Castelldefels				
mitjana	1,3	0,4	1,3	-0,4
màx.	3,6	2,8	3,9	2,9
mín.	0,1	-1,0	0,1	-2,3
desv. est.	1,1	1,1	1,2	1,1
Gavà				
mitjana	-0,5	-0,9	-0,5	-1,2
màx.	0,6	-0,3	1,2	1,1
mín.	-1,4	-1,7	-1,6	-3,3
desv. est.	0,5	0,3	0,6	1,0
Viladecans				
mitjana	-0,1	-0,7	-0,5	-1,4
màx.	1,7	0,4	1,7	1,2
mín.	-2,0	-1,9	-2,1	-3,8
desv. est.	0,9	0,7	1,2	1,3
El Prat de Llobregat				
mitjana	-1,5	-1,6	-1,7	-2,0
màx.	2,6	0,7	4,2	1,6
mín.	-6,3	-5,4	-8,2	-8,3
desv. est.	2,2	1,7	2,9	2,4

Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

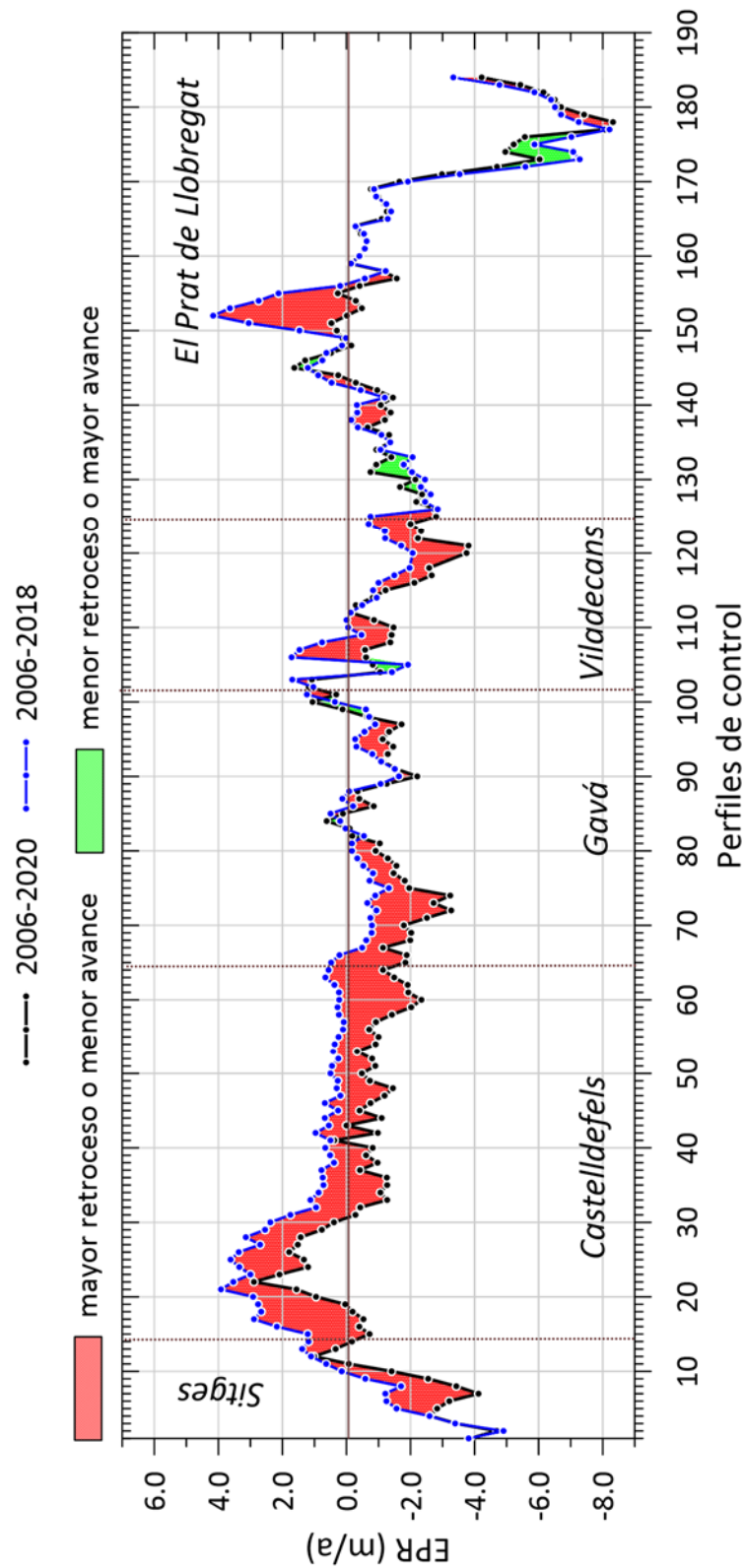
es presenta l'evolució de la distribució espacial dels canvis de línia de vora 1 al llarg del tram respecte al període cobert en l'informe anterior (2006-2018) i es pot veure que, de manera pràcticament generalitzada, el tipus de comportament es manté, tot i que les taxes varien, sobretot per l'efecte del temporal Gloria, el gener del 2020, de manera que a les zones erosives augmenta la taxa d'erosió i a les zones acumulatives disminueix l'acreció que s'ha observat (vegeu també la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Figura 9. Evolució de les taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat a partir de les dades de fotografia aèria mitjançant regressió lineal (LR) durant els períodes 2006-2018 i 2006-2020



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 10. Evolució de les taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat a partir de les dades de fotografia aèria mitjançant l'increment net (EPR) durant els períodes 2006 -2018 i 2006-2020



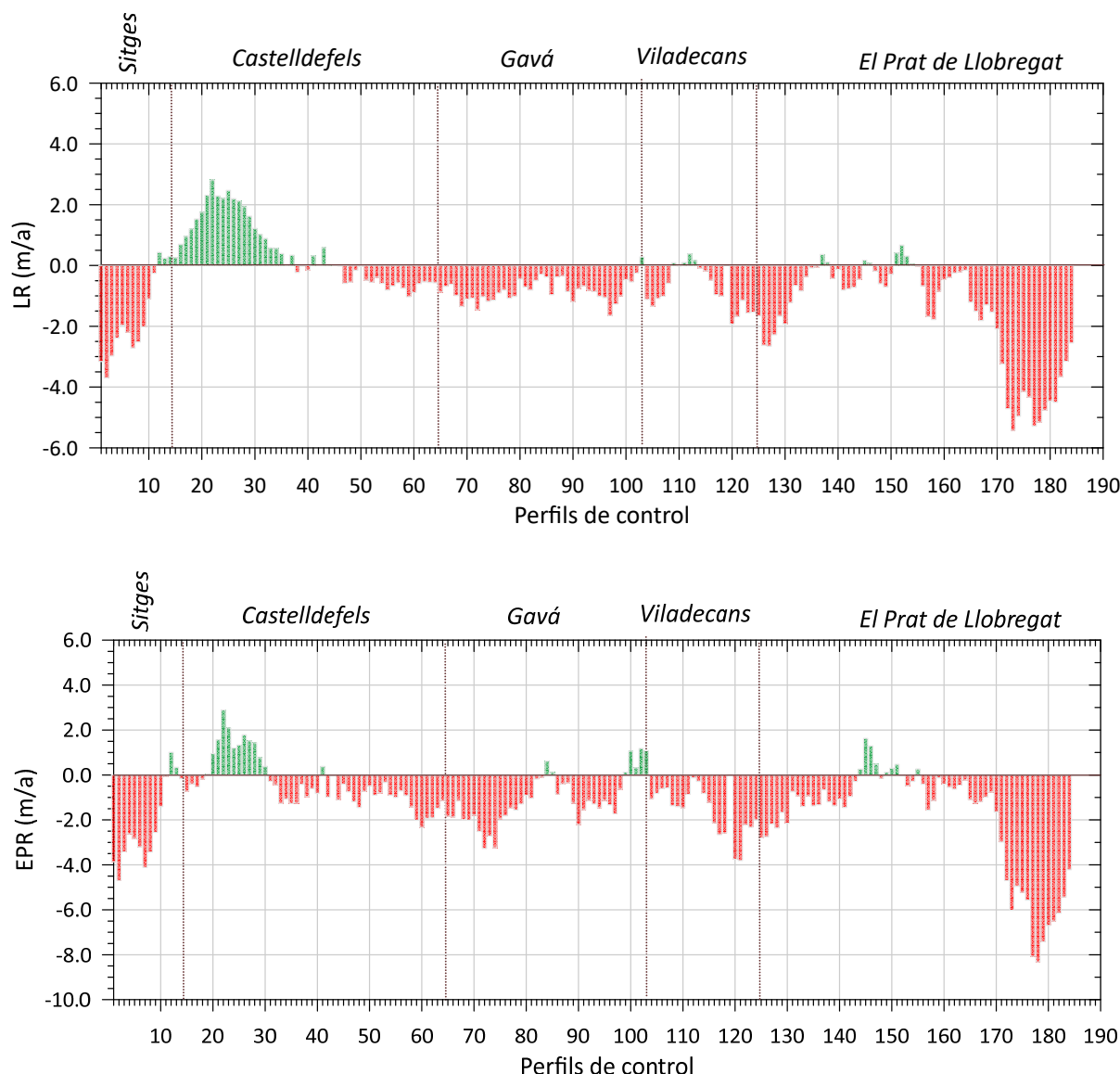
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Taula 1. Taxes evolutives mitjanes de la línia de vora al llarg de tota la cel·la costanera del delta del Llobregat i de cadascun dels trams que pertanyen als diferents municipis

	LR		EPR	
	2006-2018	2006-2020	2006-2018	2006-2020
Tota la cel·la costanera				
mitjana	-0,3	-0,8	-0,4	-1,3
màx.	3,6	2,8	4,2	2,9
mín.	-6,3	-5,4	-8,2	-8,3
desv. est.	1,9	1,5	2,2	1,8
Sitges				
mitjana	-1,1	-1,7	-1,2	-2,2
màx.	0,9	0,4	1,4	1,0
mín.	-4,0	-3,7	-4,9	-4,7
desv. est.	1,5	1,3	1,9	1,8
Castelldefels				
mitjana	1,3	0,4	1,3	-0,4
màx.	3,6	2,8	3,9	2,9
mín.	0,1	-1,0	0,1	-2,3
desv. est.	1,1	1,1	1,2	1,1
Gavà				
mitjana	-0,5	-0,9	-0,5	-1,2
màx.	0,6	-0,3	1,2	1,1
mín.	-1,4	-1,7	-1,6	-3,3
desv. est.	0,5	0,3	0,6	1,0
Viladecans				
mitjana	-0,1	-0,7	-0,5	-1,4
màx.	1,7	0,4	1,7	1,2
mín.	-2,0	-1,9	-2,1	-3,8
desv. est.	0,9	0,7	1,2	1,3
El Prat de Llobregat				
mitjana	-1,5	-1,6	-1,7	-2,0
màx.	2,6	0,7	4,2	1,6
mín.	-6,3	-5,4	-8,2	-8,3
desv. est.	2,2	1,7	2,9	2,4

Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

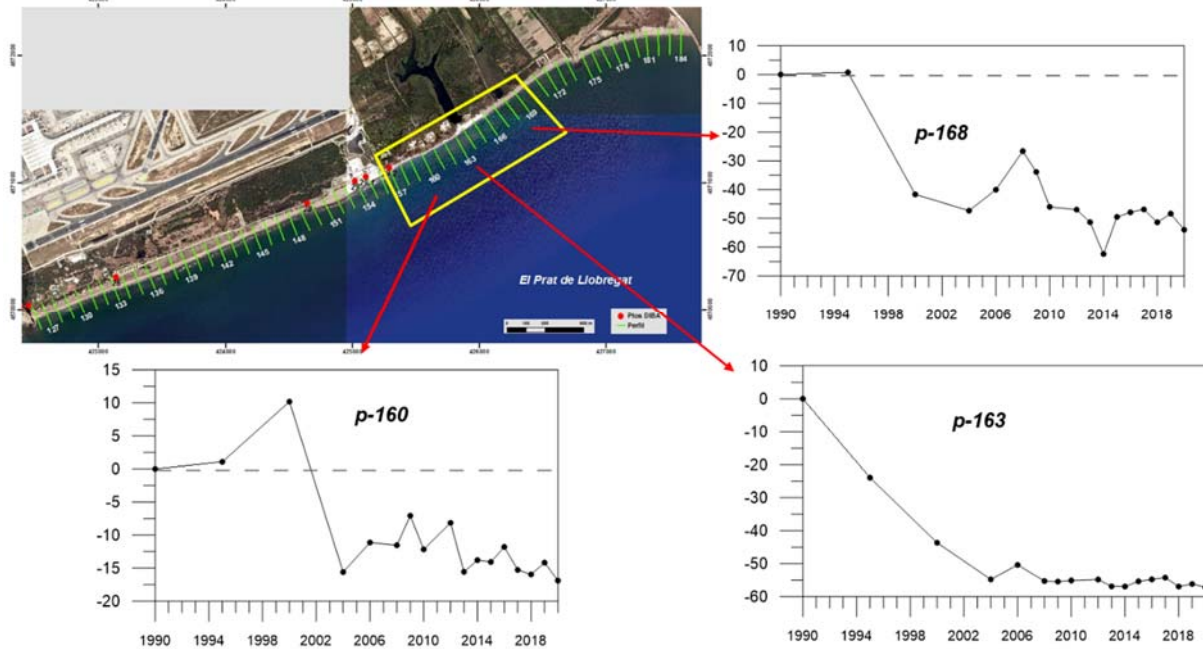
Figura 11. Taxes de desplaçament de la línia de vora al llarg de la costa del delta del Llobregat a partir de les dades de fotografia aèria durant el període 2006-2020



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

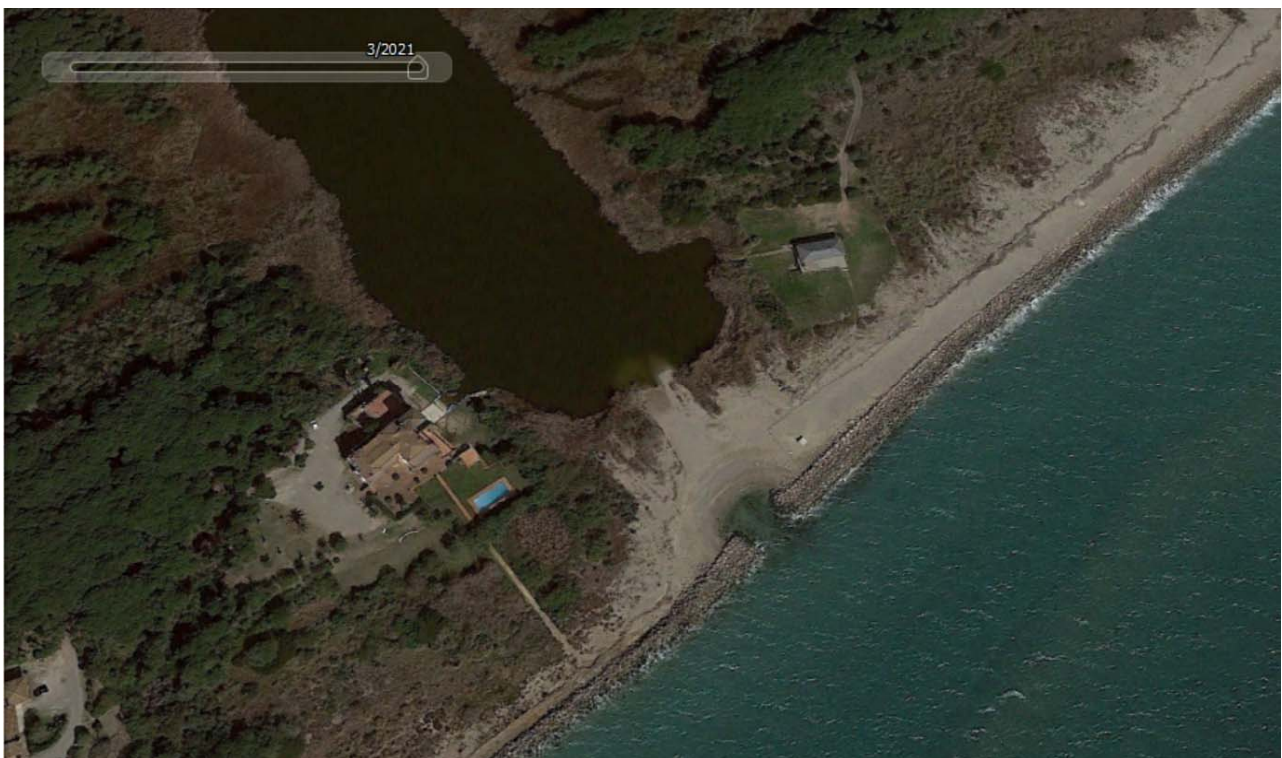
Si caracteritzem el comportament de la cel·la per trams (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** i Figura 11), el sector més erosiu continua sent el terme municipal del Prat de Llobregat, especialment el tram situat just aigua avall de l'espigó d'endegament del riu, a la zona de Ca l'Arana, al llarg de la platja recreada artificialment. A la zona de la llacuna de la Ricarda, l'evolució de la línia de costa actual està condicionada per l'existència d'un mur o revestiment d'escullera que s'estén des de la Caserna dels Carabiners, al nord, fins a l'Escola de Vela del Prat, al sud. Aquest mur, que originàriament anava des de la gola de la Ricarda fins a l'Escola de Vela, es va ampliar cap al nord a partir de l'any 2014 per a evitar que el retrocés de la línia de vora que estava experimentant el tram deixés al descobert i exposada a l'acció de l'onatge la canonada que hi ha paral·lela a la línia de vora. Com a resultat d'aquesta acció, la línia de costa en aquesta zona s'ha estabilitzat aparentment, ja que ara està composta per un mur d'escullera, en lloc de la costa de sorra original. En conseqüència, la línia de costa no pot retrocedir més enllà de la posició del mur, i les oscil·lacions que s'hi detecten són degudes a deposicions i erosions posteriors de petites quantitats de material davant de l'escullera (Figura 12).

Figura 12. «Estabilització» de la línia de vora per la construcció d'un revestiment d'escullera a la rodalia de la gola de la Ricarda



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

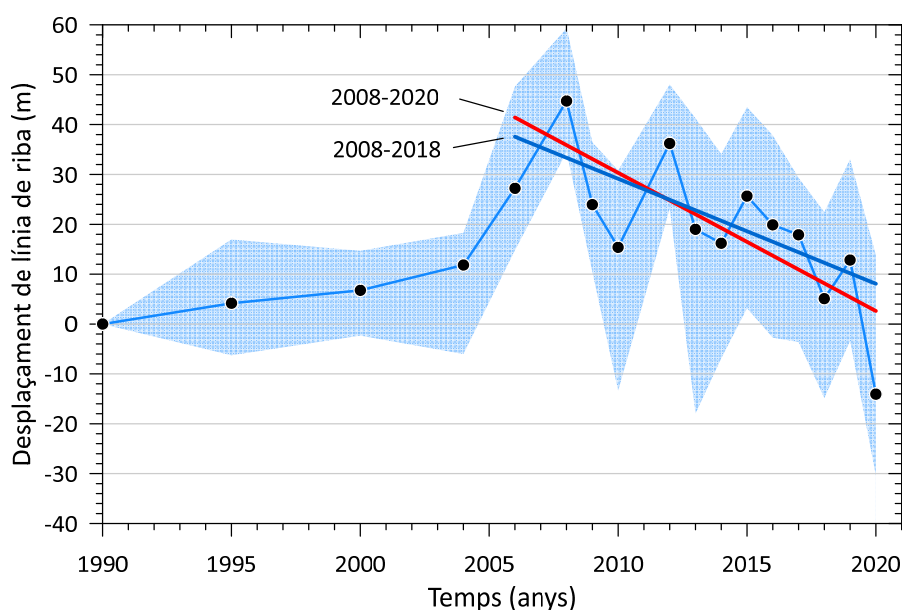
Figura 13. Detall de la configuració actual (2021) de la línia de costa a la rodalia de la gola de la Ricarda



Font: Google Earth.

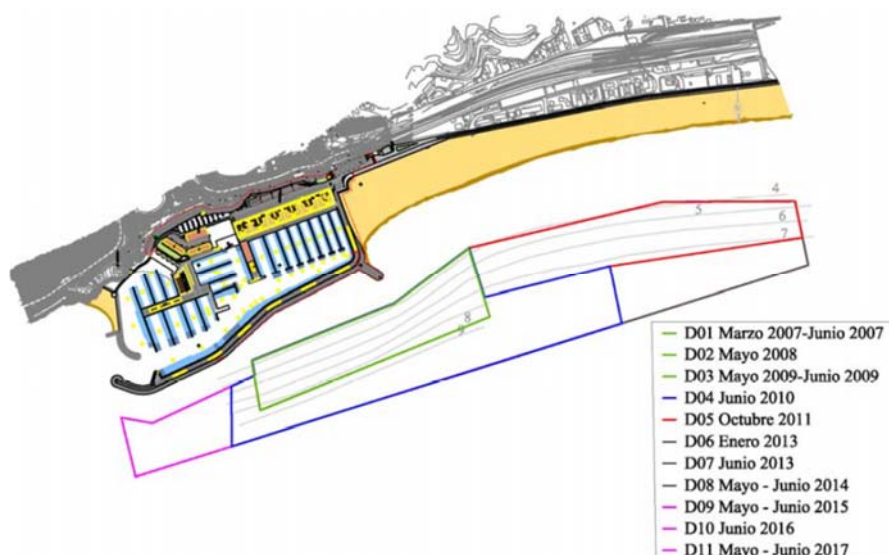
L'altra zona que destaca quant al seu caràcter erosiu és el tram adjacent al port Ginesta, a les Botigues, que, malgrat que és a l'extrem aigua avall de la cel·la, experimenta un retrocés significatiu de la línia de costa (Figura 14), associat a la redistribució de la sorra al perfil de platja per l'efecte del dragatge de sediment que es realitza a la part submergida de la rodalia del port Ginesta des del 2007 (Figura 15), com a part de les obres considerades en l'avaluació d'impacte ambiental de les obres d'ampliació del port de Barcelona.

Figura 14. Desplaçament mitjà de la línia de vora a la zona adjacent al port Ginesta (perfils 1 a 11)



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

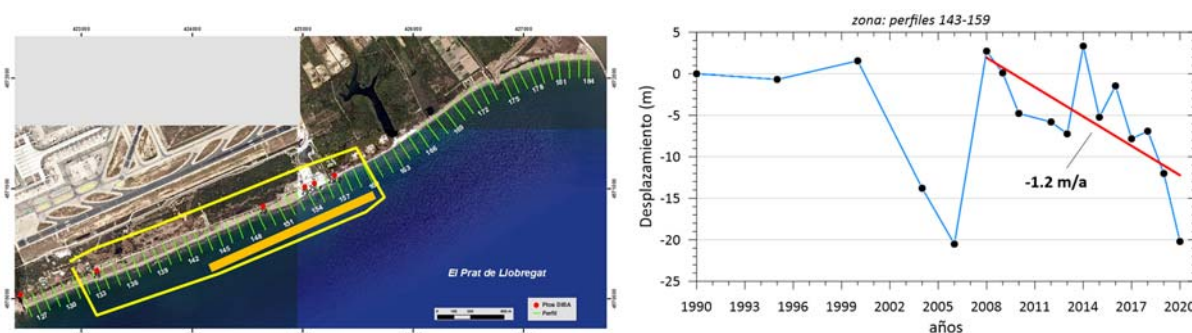
Figura 15. Zones d'extracció de sorra a la rodalia del port Ginesta



Font: Institut d'Hidràulica Ambiental. Universitat de Cantàbria (2018).

Durant el període d'anàlisi, a la zona situada al sud de l'Escola de Vela del Prat (Figura 16) s'han fet les aportacions periòdiques (anuals) de sediment que s'han esmentat abans: des del 2007 s'hi han abocat aproximadament uns 1,7 milions de m³. Cal destacar que aquesta zona, tot i que de mitjana rep una quantitat de material d'uns 100.000 m³/any, experimenta un retrocés considerable (aproximadament d'1,2 m/any); és a dir, perd més sediment que la quantitat que s'hi aporta i, per tant, s'erosiona. Com a resultat net, actualment, la costa ocupa pràcticament la mateixa posició que el 2006 (Figura 16), i aquesta «compensació» seria un efecte local, ja que no és visible a la resta de la costa (Figura 11). Durant els últims anys la quantitat abocada en aquesta zona ha disminuït, ja que el sediment s'aporta tant a la platja del Prat com a la de Gavà, en una proporció aproximada de 4:1, tot i que alguns anys varia en funció de la manca de sorra que s'observa a la zona de Gavà. En termes globals, cal catalogar les obres d'alimentació periòdica que s'han esmentat com a insuficients per a compensar les taxes de retrocés actuals, un fet que es pot associar a dos factors principals.

Figura 16. Desplaçament mitjà de la línia de vora a la zona alimentada artificialment al Prat de Llobregat (perfils 143 a 159)

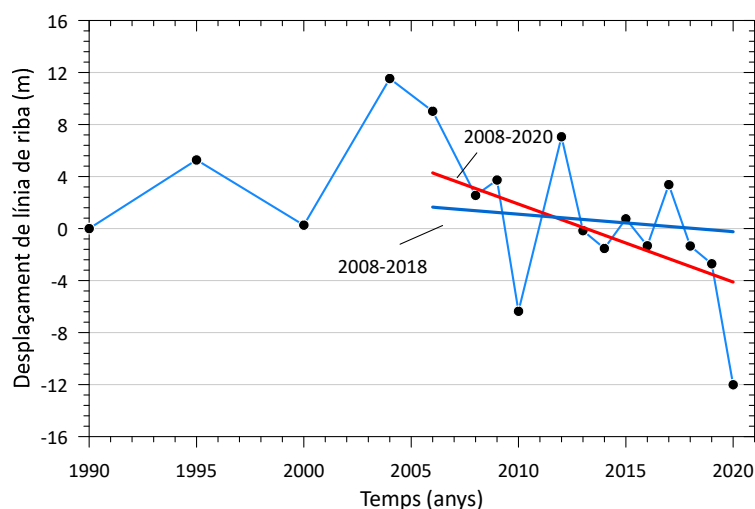


Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

En primer lloc, la diferència entre la granulometria del sediment aportat i el sediment original és significativa. Així, si es caracteritza el sediment d'aportació pel D50 del sediment que hi ha entre cotes de -5 m i -8 m a la zona adjacent al port Ginesta (que és la zona on es duu a terme el dragatge), s'obté un D50 = 0,16 mm. Per contra, si es caracteritza el sediment original a la zona d'aportació del Prat de Llobregat a la seva part més interna (fins a la cota -2 m), s'obté un D50 = 0,25 mm. És a dir, la mida mitjana del sediment d'aportació és un 35 % més baixa que la del sediment de la platja que s'ha de regenerar, fet que explicaria la baixa eficiència de les aportacions que s'han fet, ja que la mobilització amb condicions hidrodinàmiques similars és més alta. En segon lloc, des de la construcció del mur d'escullera al nord de la zona, s'han canviat les condicions quant al flux de sediment per transport longitudinal. Així, la substitució d'una costa sedimentària per una banda amb escullera limita el sediment disponible per a ser transportat longitudinalment cap al sud sota l'acció de l'onatge dominant de la zona, cosa que significa menys volum aportat i, en conseqüència, un augment dels gradients locals del transport.

Al llarg del terme municipal de Viladecans, la línia de vora mostra un comportament mitjanament erosiu i experimenta un increment significatiu en les taxes d'erosió si el període s'estén fins al 2020 (en comparació amb el període anterior, fins al 2018) (Figura 17). Al llarg del tram els retrocessos més importants es localitzen a l'extrem E i disminueixen lleugerament en direcció W (Figura 11). Aquest patró és consistent amb la presència de l'espigó del Remolar a l'extrem E, que suposa una alteració local al transport longitudinal de sediment.

Figura 17. Variació de la posició mitjana de la línia de vora al llarg del TM de Viladecans



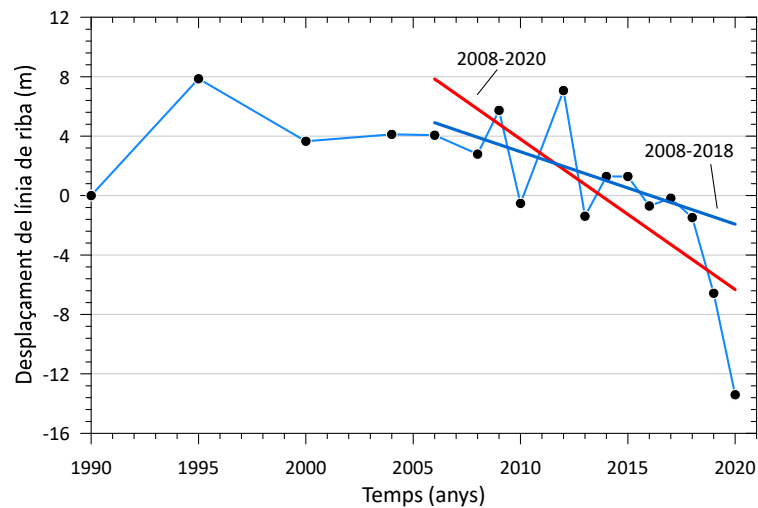
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

El cas de la costa al llarg del terme municipal (TM) de Gavà és similar, ja que mostra un comportament mitjanament erosiu la magnitud del qual s'incrementa en estendre el període fins al 2020 (Figura 18), amb unes taxes d'erosió força homogènies al llarg del tram (Figura 11). Quan s'observen les taxes obtingudes per EPR, es detecta una zona al centre del tram on el retrocés net disminueix. Aquí és on s'han produït les aportacions realitzades al TM de Gavà des del 2017, que, malgrat que són insuficients per a afectar el comportament general (fet que reflecteixen les taxes d'LR), gràcies a la seva magnitud, compensen parcialment i puntualment part de l'erosió existent. En aquest punt, s'ha de destacar que la part central del tram es caracteritza per presentar grans oscil·lacions en la posició de la línia de vora (

Figura 19). Aquesta zona ha sofert durant els últims anys diversos danys després de l'impacte de temporals i, tot i que presenta una tendència evolutiva lleugerament erosiva durant el període del 2006 al 2020 ($-0,3$ m/any i $-0,4$ m/any per als perfils P84 i P85, respectivament), mostra grans fluctuacions interanuals sobre aquesta tendència (

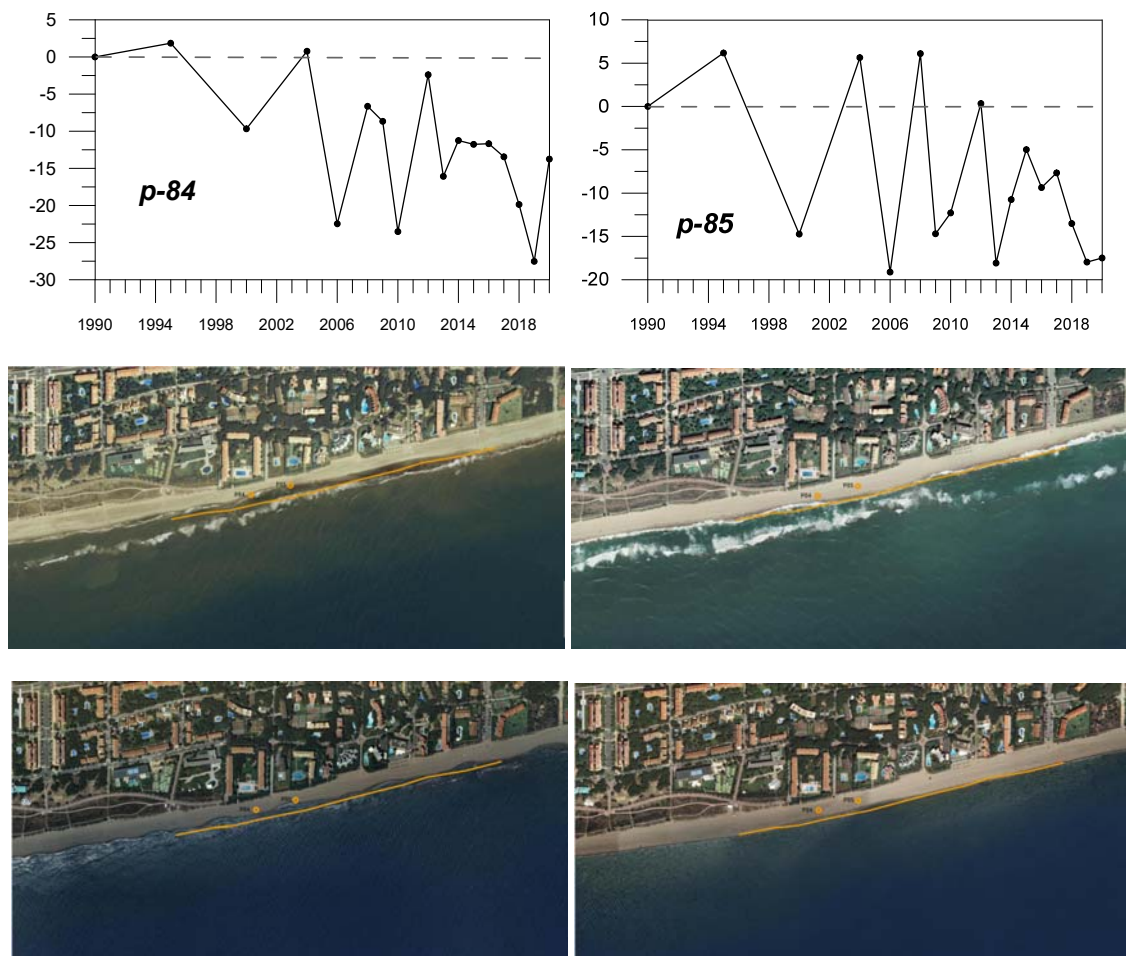
Figura 19). Així, malgrat que a llarg termini la zona no experimenta un retrocés important, hi ha determinades èpoques en què l'amplada de la platja és clarament insuficient per a resistir l'impacte d'un temporal.

Figura 18. Variació de la posició mitjana de la línia de vora al llarg del TM de Gavà



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 19. Oscil·lacions en la posició de la línia de vora a la part central del TM de Gavà [Superior: desplaçament de línia de vora als perfils P84 i P85 (vegeu posició en les fotos adjuntes). Mig: configuració de la zona el 2006 (esq.) i el 2008 (dta.). Inferior: configuració de la zona el 2009 (esq.) i el 2012 (dta.). (La línia que apareix a les fotos és la posició de la línia de vora el 1956.)]



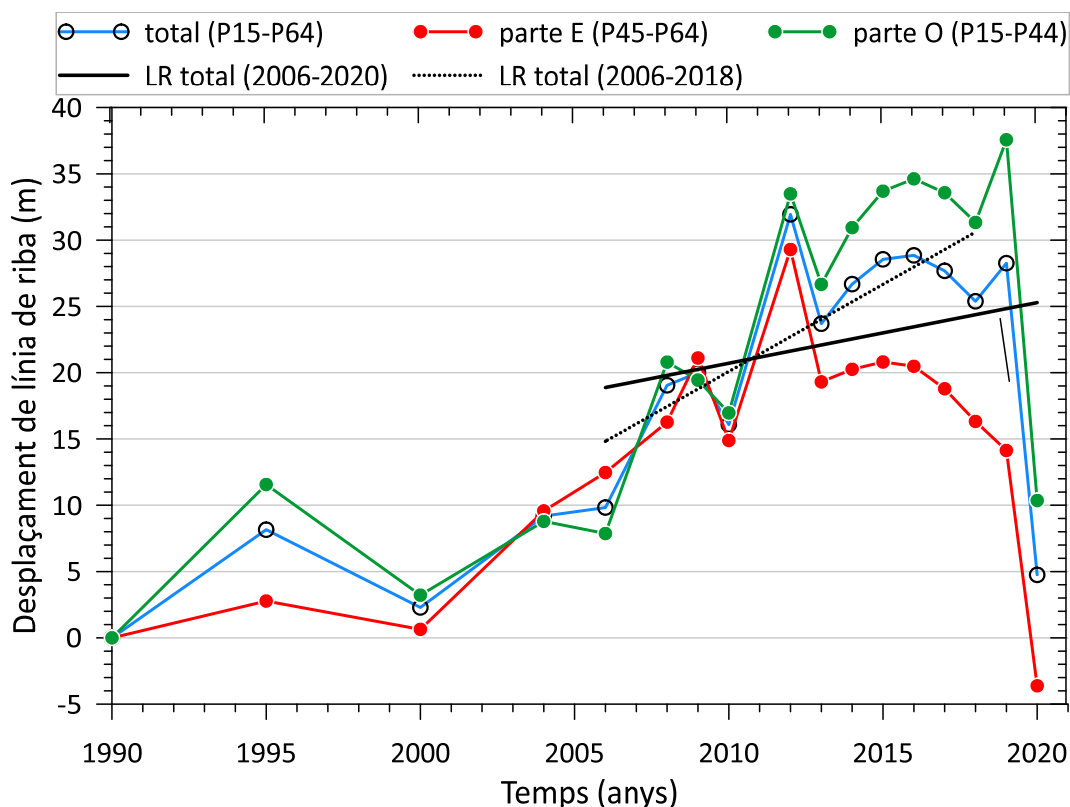
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Finalment, la línia de vora al llarg del terme municipal de Castelldefels, tot i que presenta una tendència evolutiva positiva durant el període analitzat (2006-2020), ha disminuït respecte al període anterior (2006-2018) (

Figura 19). Així mateix, es detecta que el sector situat més a l'est del tram presenta un canvi en la tendència a partir de l'any 2017, quan passa a mostrar un comportament regressiu amb la disminució consegüent de l'amplada de platja (

Figura 19). A la part més occidental del tram encara no s'observa aquest canvi en la tendència. Aquesta diferència de comportament entre ambdues zones es pot veure clarament en la distribució espacial de les taxes evolutives durant el període analitzat (Figura 11).

Figura 20. Variació de la posició mitjana de la línia de vora al llarg del TM de Castelldefels



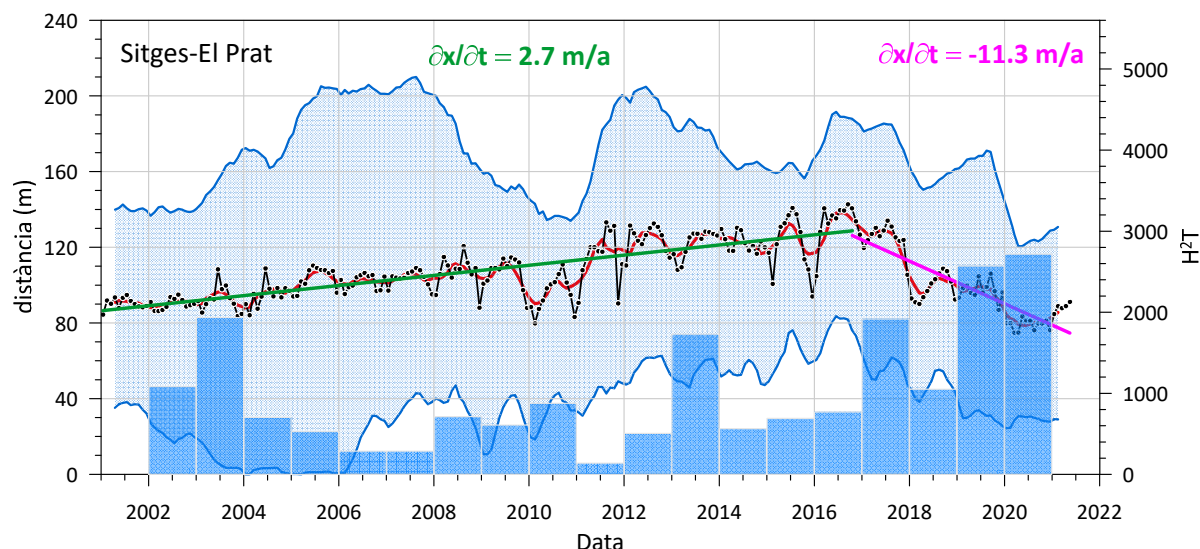
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

3.3. Evolució a curt termini de la línia de vora

Un cop caracteritzada l'evolució general de la zona en una escala de dècades, s'ha realitzat una anàlisi de detall per a caracteritzar les fluctuacions en la línia de vora que es verifiquen en una escala temporal més reduïda, identificada anteriorment. Per a fer-ho, s'analitzen les dades registrades mensualment per l'AMB a la zona durant el període 2001-2021. L'evolució de la línia de vora dels perfils de control es presenta a l'annex II.

El comportament mitjà dels perfils al llarg de tota la cel·la es mostra a la Figura 21, en què es poden veure grans fluctuacions en l'amplada de platja cada mes. A més, superposadament, es pot observar un comportament de baixa freqüència amb diferents fases: una primera fase d'estabilitat des de l'any 2002 fins al 2017, en què el perfil mitjà experimenta un lleuger avançament de la línia de vora, i un canvi radical en la tendència a partir del 2017, en què la cel·la s'erosiona significativament, amb unes taxes d'erosió 4 vegades superiors a la taxa d'avançament experimentada anteriorment. D'aquesta manera, el retrocés mitjà des del 2017 supera l'avançament del període 2002-2017. Aquesta fase erosiva coincideix amb la presència d'anys amb temporals significatius, que, tot i que no marquen necessàriament una tendència creixent, indiquen l'existència d'un clúster de temporals en aquell període (Figura 21). Un altre període puntual en què es detecta un increment de l'erosió és el 2009-2010, quan s'observa un augment relatiu de l'energia dels temporals respecte a anys previs, tot i que sense assolir el nivell del període posterior al 2017. Després de la fase erosiva del 2010, la línia de costa mitjana recupera la tendència general del període, mentre que en l'última fase encara no s'ha pogut observar la recuperació de la platja.

Figura 21. Variació de l'amplada mitjana de la platja per a la totalitat de la costa a partir de les dades mensuals de l'AMB [Línia negra: amidament instantani. Línia vermella: mitjana mòbil de 7 mesos. Banda blava: evolvent dels valors màxims i mínims enregistrats (filtrats amb la mitjana mòbil de 7 mesos). Barres: el flux d'energia de l'onatge (H2T) integrat de totes les tempestes enregistrades anualment a la zona.]



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

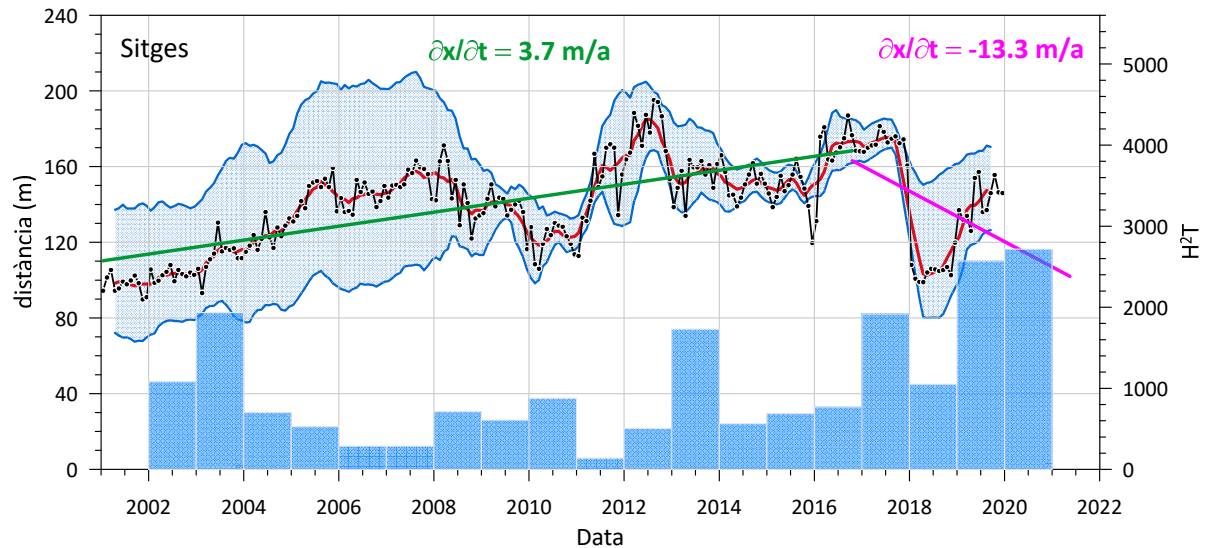
El comportament mitjà dels perfils al llarg de cada terme municipal es presenta des de la Figura 22 fins a la Figura 26, en què s'observen tant les fluctuacions de l'amplada de platja a curt termini com les oscil·lacions de baixa freqüència, tot i que amb variacions en el patró temporal segons el tram considerat. Com es pot veure, excepte als perfils que corresponen a Viladecans, tots els trams presenten un comportament similar al que es descriu per a la cel·la, amb una acceleració de l'erosió a partir del 2017. En el cas de Viladecans, l'augment de la taxa d'erosió és molt més baixa. A més, independentment del comportament general del tram, la línia de vora presenta fluctuacions de gran magnitud entre campanyes successives en tots els trams. A la Taula 2 es caracteritzen aquestes fluctuacions a partir de la posició més avançada i més endarrerida del perfil mitjà de cada tram durant cada any, amb la finalitat d'identificar l'amplitud dels cicles anuals d'avançament i retrocés. Així, s'observa que tots els trams fluctuen anualment de manera molt significativa, amb una amplitud mitjana entre la posició més avançada i més endarrerida d'uns 30 m.

Taula 2. Fluctuacions a curt termini (mensuals) en l'amplada de platja mitjana (diferència entre la posició més avançada i més endarrerida anualment) per a cada un dels trams (fent la mitjana de tots els perfils de cada tram) durant el període 2001-2020

Sector	Amplitud mitjana (m)	Amplitud màxima (m)	Amplitud mínima (m)
TM de Sitges	31	59	9
TM de Castelldefels	25	47	7
TM de Gavà	30	59	7
TM de Viladecans	30	66	16
TM del Prat de Llobregat	35	70	10

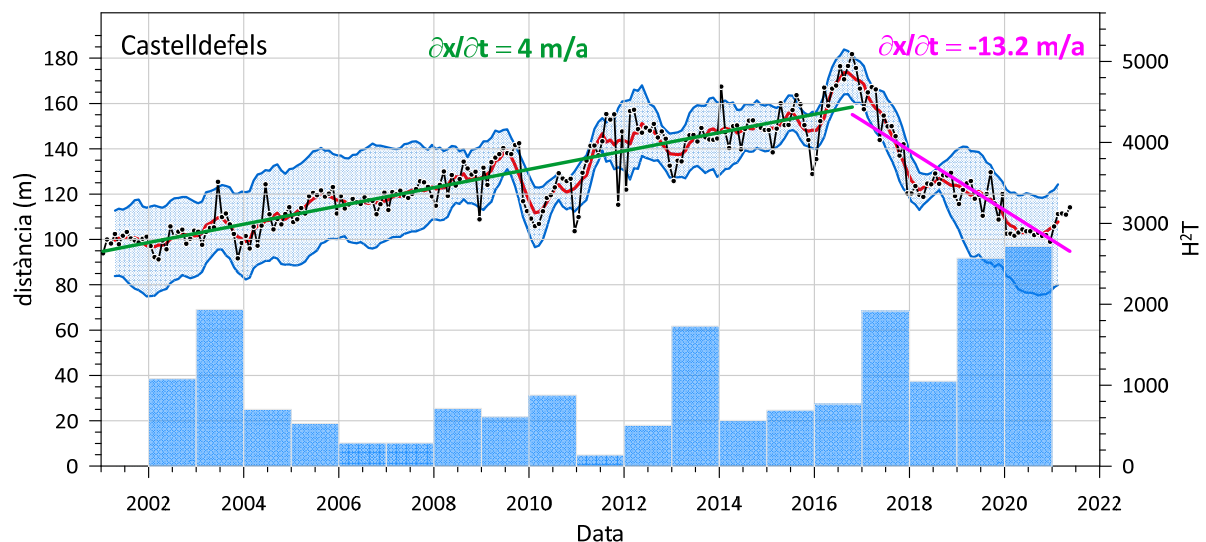
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 22. Variació de l'amplada mitjana de la platja per als perfils dins del TM de Sitges a partir de les dades mensuals de l'AMB [Línia negra: amidament instantani. Línia vermella: mitjana mòbil de 7 mesos. Banda blava: l'evolvent dels valors màxims i mínims enregistrats (filtrats amb la mitjana mòbil de 7 mesos). Barres: el flux d'energia de l'onatge (H2T) integrat de totes les tempestes enregistrades anualment a la zona.]



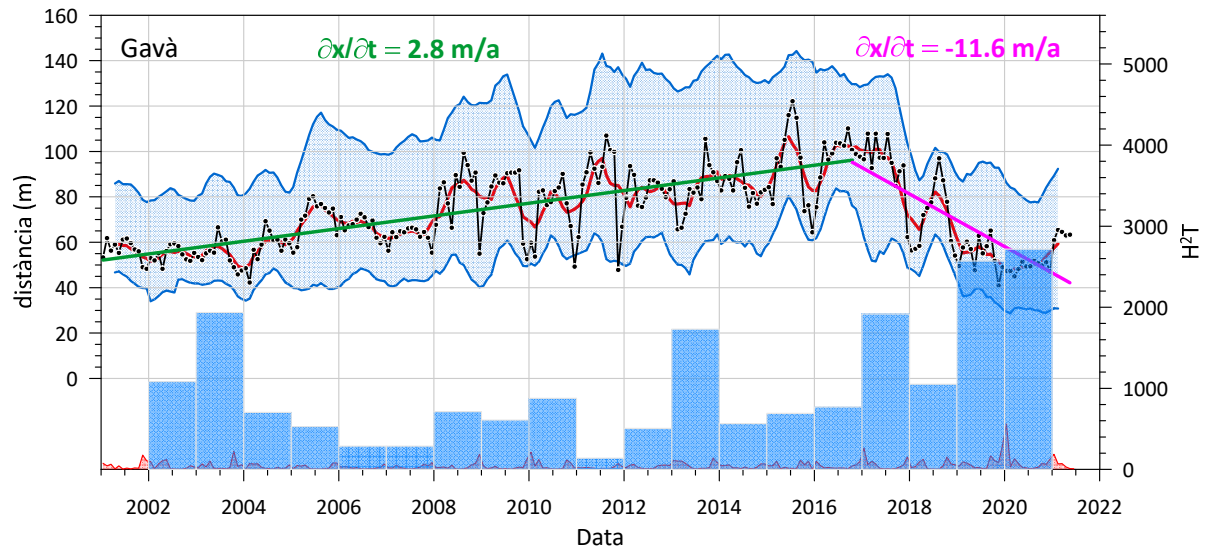
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 23. Variació de l'amplada mitjana de la platja per als perfils dins del TM de Castelldefels a partir de les dades mensuals de l'AMB [Línia negra: amidament instantani. Línia vermella: mitjana mòbil de 7 mesos. Banda blava: l'evolvent dels valors màxims i mínims enregistrats (filtrats amb la mitjana mòbil de 7 mesos). Barres: el flux d'energia de l'onatge (H2T) integrat de totes les tempestes enregistrades anualment a la zona.]



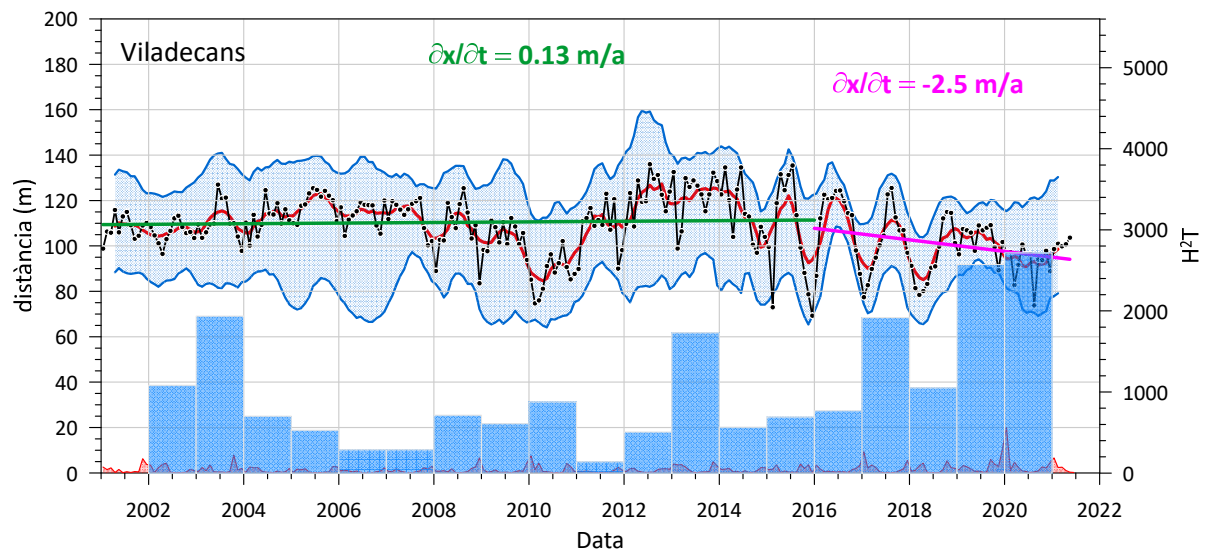
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 24. Variació de l'amplada mitjana de la platja per als perfils dins del TM de Gavà a partir de les dades mensuals de l'AMB [Línia negra: amidament instantani. Línia vermella: mitjana mòbil de 7 mesos. Banda blava: l'evolvent dels valors màxims i mínims enregistrats (filtrats amb la mitjana mòbil de 7 mesos). Barres: el flux d'energia de l'onatge (H2T) integrat de totes les tempestes enregistrades anualment a la zona.]



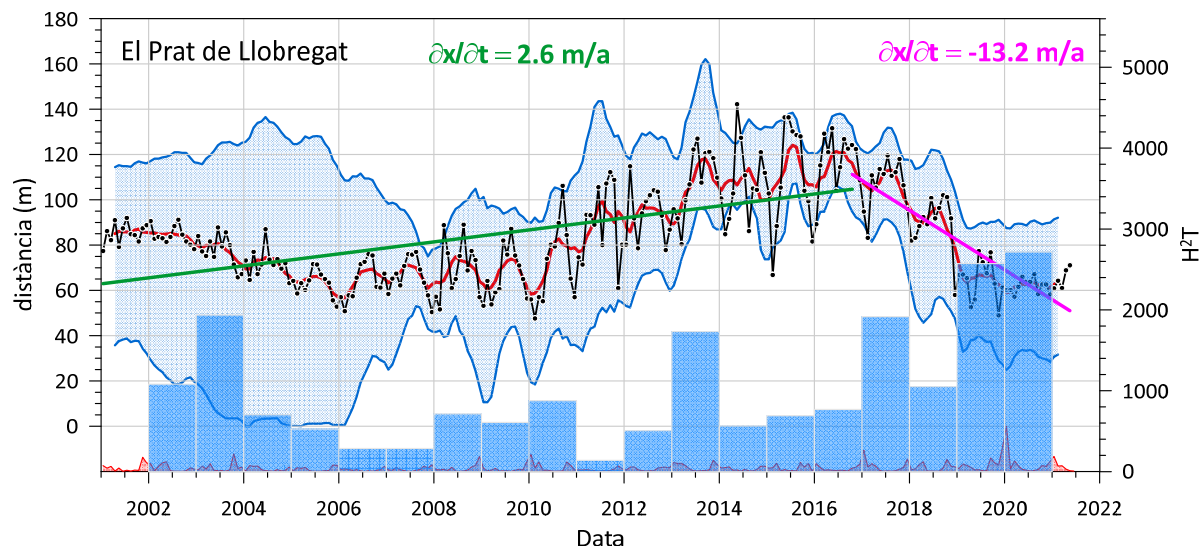
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 25. Variació de l'amplada mitjana de la platja per als perfils dins del TM de Viladecans a partir de les dades mensuals de l'AMB [Línia negra: amidament instantani. Línia vermella: mitjana mòbil de 7 mesos. Banda blava: l'evolvent dels valors màxims i mínims enregistrats (filtrats amb la mitjana mòbil de 7 mesos). Barres: el flux d'energia de l'onatge (H2T) integrat de totes les tempestes enregistrades anualment a la zona.]



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 26. Variació de l'amplada mitjana de la platja per als perfils dins del TM del Prat de Llobregat a partir de les dades mensuals de l'AMB [Línia negra: amidament instantani. Línia vermella: mitjana mòbil de 7 mesos. Banda blava: l'evolvent dels valors màxims i mínims enregistrats (filtrats amb la mitjana mòbil de 7 mesos). Barres: el flux d'energia de l'onatge (H2T) integrat de totes les tempestes enregistrades anualment a la zona.]



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

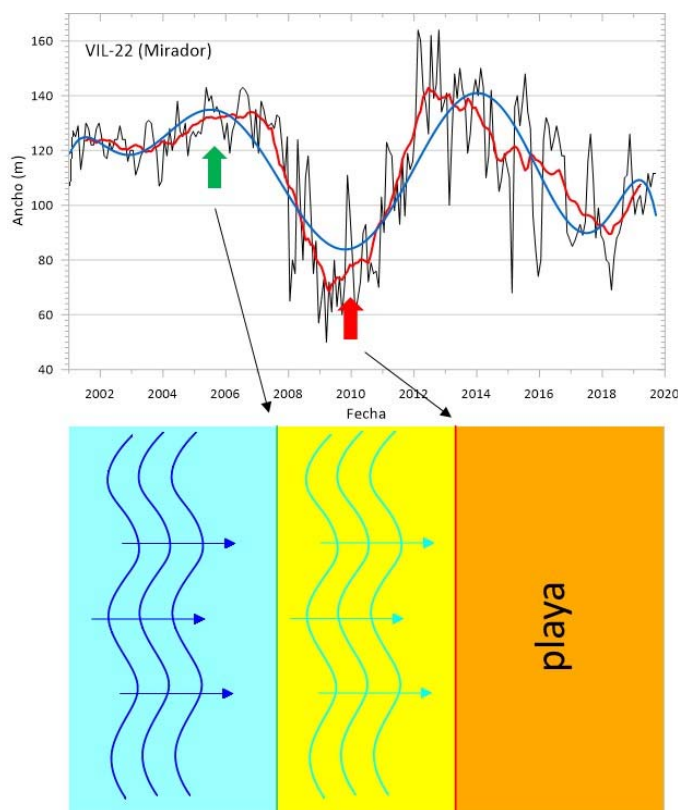
Adicionalment a les fluctuacions de curt període, tal com es va introduir a l'informe anterior, les platges presenten fluctuacions en l'amplada en un període més llarg que aquests canvis estacionals, que, tot i que es verifiquen més lentament, poden arribar a actuar de manera sinèrgica amb les que s'han descrit anteriorment. És a dir, es pot presentar la situació crítica d'una erosió instantània deguda a l'impacte d'un temporal durant una configuració en què l'amplada de platja es trobi reduïda respecte al seu valor mitjà degut al component de llarg període, que correspondria a variacions tendencials de diversos anys, per la qual cosa disminuiria el grau de protecció al rerepaís (*hinterland*) (Figura 27). Les implicacions potencials són importants, ja que el que podria significar un perill per a la zona no és tant l'erosió a llarg termini, sinó les fluctuacions en l'amplada.

Taula 3. Fluctuacions de llarg període de l'amplada mitjana de platja per a cadascun dels trams (fent la mitjana de tots els perfils de cada tram) a partir de les dades filtrades amb mitjana mòbil d'un any

Sector	Retrocés màxim (m)	Avançament màxim (m)
TM de Castelldefels	-45	29
TM de Gavà	-38	24
TM de Viladecans	-38	46
TM del Prat de Llobregat	-29	49
Cel·la costanera total	-27	32

Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 27. Esquematització de la variació en la capacitat de protecció de la platja en funció de les fluctuacions de baixa freqüència en l'ample de platja en relació amb les fluctuacions de llarg període



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

A la Taula 3 es recullen les fluctuacions màximes de llarg període en la posició mitjana de la platja de cadascun dels trams. En aquest cas, tant el retrocés com l'avançament màxim es determina no entre posicions instantànies successives, sinó a partir del valor entre crestes i valls del component de baixa freqüència. Com es pot veure, la zona presenta fluctuacions a baixa freqüència en l'amplada de platja d'una magnitud equivalent a les de curt termini, amb retrocessos superiors a 25 m en tots els trams (Taula 3). La zona presenta també cicles de recuperació, amb avanços superiors a 30 m.

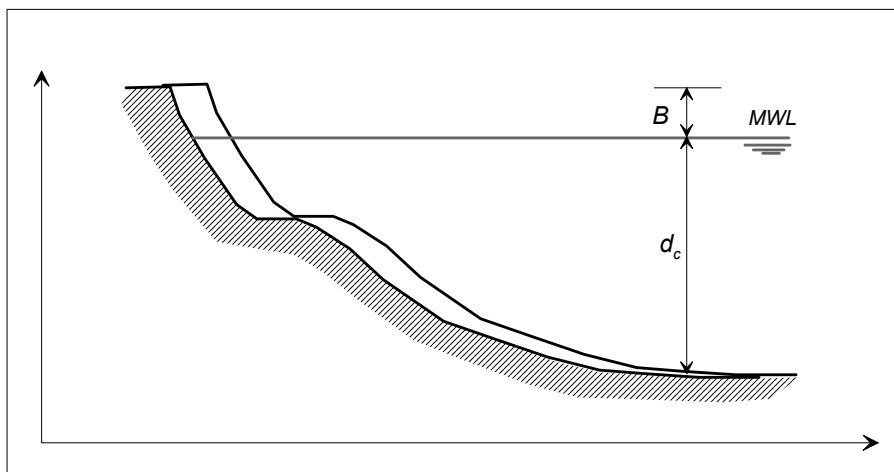
3.4. Balanç sedimentari en condicions actuals

Un cop caracteritzada l'evolució de la línia de vora durant el període de seguiment, s'avalua el balanç sedimentari de la cel·la. Per a estimar els canvis de volum experimentats per la cel·la costanera a partir de les dades d'evolució de línia de vora, s'assumeix que el desplaçament experimentat per la línia de vora, ΔX , es tradueix en un increment de volum, ΔV , donat per $\Delta V = \Delta X (d_c + B) \alpha$, en què d_c és la profunditat activa o de tancament, B és l'altura de la berma i α és un factor que indica el tipus de canvi experimentat pel perfil. Valors de $\alpha = 1$ indicarien que el perfil es desplaça paral·lelament a si mateix, mantenint la seva forma constant durant l'evolució (Figura 28). Aquesta hipòtesi se sol aplicar quan els canvis observats en la línia de vora són deguts bàsicament al transport longitudinal de sediment. Tanmateix, en el cas que els canvis siguin deguts al transport transversal, hi haurà una modificació en la forma del perfil de platja i, en conseqüència, $\alpha < 1$.

Atesa l'evolució de línia de vora observada, així com les condicions de contorn del tram i el comportament de les alimentacions realitzades, s'ha optat per estimar els canvis de volum assumint

dos valors de α que cobririen els dos tipus possibles d'origen dels canvis: (i) $\alpha = 1$, assumint que els canvis són deguts al transport longitudinal, i (ii) $\alpha = 0,5$, assumint que els canvis són deguts fonamentalment al transport transversal. Tot i que els canvis seran deguts a una combinació dels dos mecanismes de transport, amb aquests valors es limitarà el rang de variació de volum previst.

Figura 28. Hipòtesi assumida per a estimar els canvis de volum en un perfil de platja a partir dels desplaçaments de línia de vora



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Un dels punts clau a l'hora de calcular els volums de sediment involucrats en els canvis de la línia de vora és l'estimació de la profunditat activa, d_c . Això s'ha avaluat per mitjà del mètode proposat per Hallermeier (1981), amb la fórmula

$$d_c = 2.28 H_s - 68.5 (H_s^2 / g T_s^2)$$

en què H_s és l'altura d'ona significant associada a una probabilitat de no excedència de 12 hores/any i T_s és el període associat. Per a estimar-la, s'han pres els valors d' H_s i T_s característics de la zona a partir de les dades d'onatge corresponents al punt 2109135 de la base de dades SIMAR de Ports de l'Estat durant el període 2001-2020. Aquests valors són $H_s = 3,5$ i $T_s = 9,3$ s, amb els quals s'obté una profunditat activa característica de 7 m. El valor de la berma, B , representativa dels perfils de la zona, s'ha pres com la mitjana de les dades d'altura de berma a les platges de la zona aportades pel *Llibre verd de la costa catalana* (CIIRC, 2010). El valor assignat com a representatiu és 1,5 m.

Aplicant aquests valors a les taxes evolutives de cadascun dels perfils de la zona s'obtenen els canvis de volum característics del període 2006-2020 que es mostren a la Taula 4. Les taxes d'evolució de la línia de vora al llarg de la cel·la costanera equivaldrien a una pèrdua de sediment d'entre 123.000 m³/any i 61.500 m³/any. En aquest sentit, el sector del Prat de Llobregat és el que experimentaria una pèrdua més elevada (77.000 m³/any - 38.800 m³/any), mentre que la costa del TM de Castelldefels és l'únic tram amb una acumulació neta de sediment (18.000 m³/any - 9.800 m³/any).

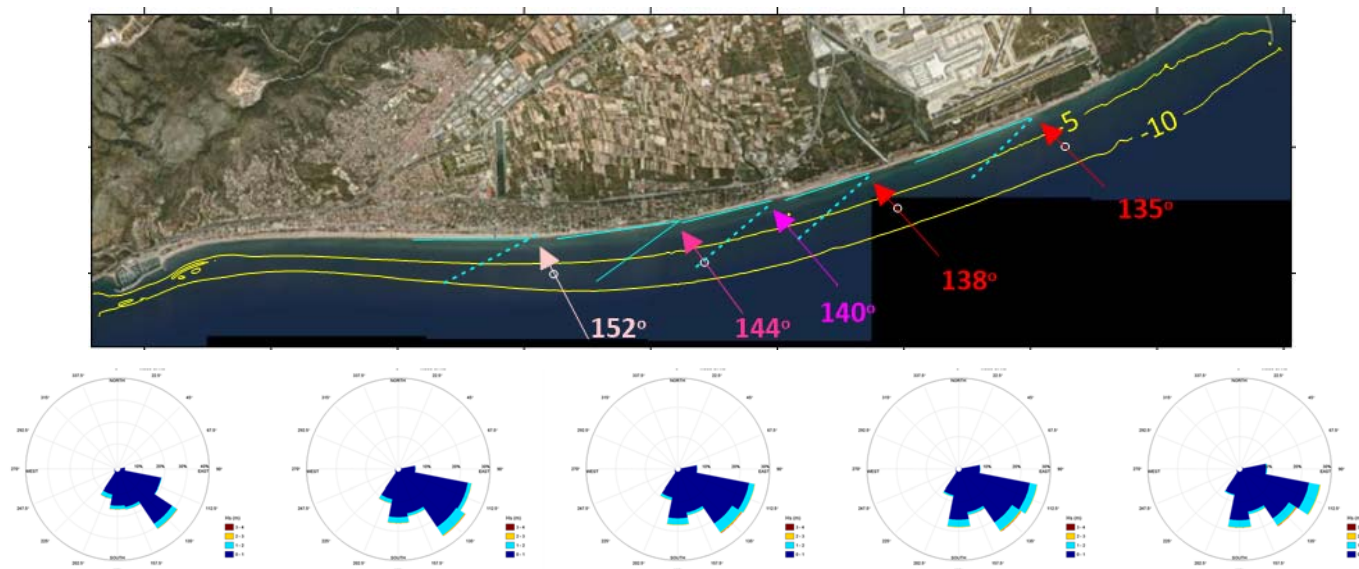
Com que durant aquest període s'han realitzat diferents aportacions de sediment, per a caracteritzar la part del balanç sedimentari a causa de l'acció de la dinàmica natural, ΔV , s'ha de «corregir» la pertorbació introduïda per aquestes actuacions, q , a través de l'equació de conservació del volum de sediment, $\Delta V = [(d_c + B) \cdot \alpha \cdot \Delta X] - q$. Així, si repartim el volum total de sediment aportat al llarg del període de seguiment (2006-2020) s'obté que aproximadament s'han aportat uns 125.000 m³/any, que s'han d'afegir a la quantitat calculada. És a dir, la cel·la costanera perdria entre 248.000 m³/any i 186.500 m³/any durant el període 2006-2020.

Taula 4. Canvi de volum mitjà anual estimat a partir de la taxa de desplaçament de línia de vora a la cel·la costanera del delta del Llobregat per al període 2006-2020 [$\alpha = 1$: assumint desplaçament paral·lel del perfil; $\alpha = 0,5$: assumint canvi en la forma del perfil amb redistribució des de la part emergida fins a la submergida.]

Sector	Perfils	$\Delta V (\alpha = 1)$ (m ³ /a)	$\Delta V (\alpha = 0,5)$ (m ³ /a)
TM de Sitges	1-14	-18.500	-9.300
TM de Castelldefels	15-64	18.000	9.000
TM de Gavà	65-101	-27.100	-13.600
TM de Viladecans	102-125	-17.600	-8.800
TM del Prat de Llobregat	126-184	-77.700	-38.800
Cel·la costanera total	1-184	-123.000	-61.500

Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 29. Superior: direcció de l'onatge representatiu a peu del perfil actiu ($z = 7$ m) al llarg de la costa; inferior: roses d'onatge propagades fins a cada punt a 7 m de profunditat



Font: ECOSOST.

El patró espacial dels canvis que s'han observat és compatible amb una cel·la sotmesa a l'acció d'un onatge dominant de component est, de manera que els retrocessos més grans es produeixen a l'extrem est, a la zona de Ca l'Arana al TM del Prat de Llobregat, mentre que a l'única zona on es detecta un avanç significatiu és a l'extrem oest, al TM de Castelldefels (Figura 11). El clima d'onatge de la zona, juntament amb la configuració de la costa, determina una variació longitudinal tant en l'angle d'incidència representatiu de l'onatge com en el seu contingut energètic. A la Figura 29 es mostra la direcció representativa del flux d'energia mitjà de l'onatge al llarg de la costa a la zona on es produeix el canvi d'orientació.

A la Figura 30 es pot veure el paràmetre $H^2T \sin 2(\alpha - \alpha_s)$ mitjà representatiu al llarg de la costa. Com que el transport longitudinal de sediment és proporcional a aquest paràmetre, aquesta distribució espacial indicaria el patró de variabilitat de la capacitat de transport longitudinal de l'onatge a la zona. La distribució que s'obté mostra una capacitat de transport creixent fins a Viladecans que decreix posteriorment en direcció oest. Així mateix, la zona de transició entre Viladecans i Castelldefels, al llarg del litoral de Gavà, mostra una relativa homogeneïtat en les condicions de transport. Aquest patró, juntament amb les condicions de contorn de la cel·la (p. ex., transport nul a l'extrem est per la presència del dic d'endegament del riu Llobregat, el port Ginesta al sud, petits espigons a les goles), determina la contribució del component longitudinal en els canvis que s'han observat.

Figura 30. Paràmetre indicatiu de la capacitat de transport longitudinal ($H^2T \sin 2(\alpha - \alpha_s)$ mitjà) a la zona (onatge mostrat a la Figura 29) a 7 m de profunditat



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

3.5. Evolució a llarg termini de la línia de costa

Finalment, com que l'objectiu d'aquest informe és identificar les zones crítiques de la cel·la quant a evolució costanera i proposar estratègies d'adaptació i protecció, s'ha fet una estimació de l'evolució del tram a molt llarg termini considerant l'efecte d'una pujada del nivell del mar a causa del canvi climàtic. Per a fer-ho, s'ha avaluat la contribució que tindria la pujada del nivell del mar en l'estabilitat costanera en diferents escenaris climàtics. En qualsevol cas, aquesta estimació es presenta com un component addicional a les taxes d'evolució que experimenten les platges amb les condicions actuals i per això l'evolució real final seria la suma dels dos elements.

És àmpliament acceptat que, en absència de qualsevol mecanisme compensatori, un dels efectes principals de la pujada del nivell mitjà del mar (PNM) és el retrocés de la línia de vora en costes sedimentàries exposades (Nicholls i Cazenave, 2010). La manera més comuna d'avaluar aquest retrocés costaner és l'anomenada regla de Bruun (1962), que és un model simple fonamentat en l'equilibri i en què se suggereix que, en un escenari d'augment del nivell del mar, el perfil de la platja respondrà mantenint constant la seva posició i forma en relació amb el nou nivell mitjà del mar. Aquest model no inclou l'efecte de gradients en el transport de sediment al llarg de la costa ni la

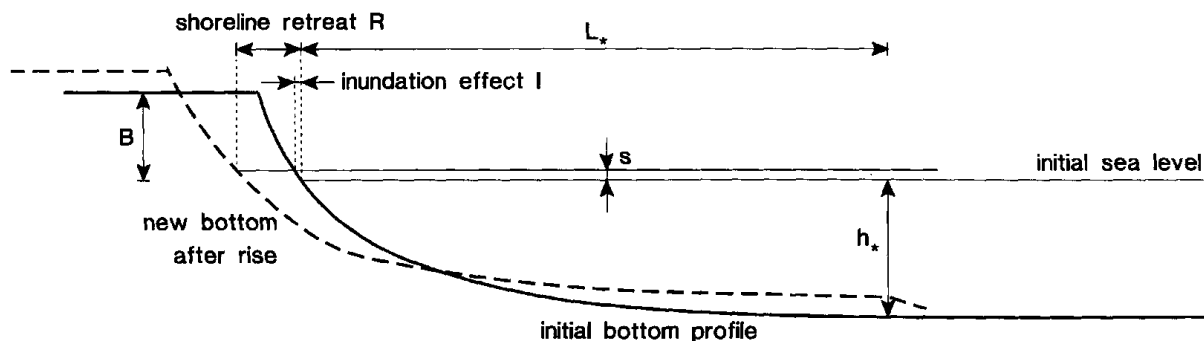
presència de fonts o embornals de sediment, fet que provoca que no sigui aplicable per a avaluar la resposta integrada a escala local. Tanmateix, es pot utilitzar per a estimar l'ordre de magnitud de l'erosió induïda per la PNM en absència d'altres factors a escala regional, és a dir, la taxa de retrocés induïda per a una zona amb característiques semblants. De fet, és un dels models més utilitzats (p. ex., Le Cozannet *et al.*, 2014; Jiménez *et al.*, 2017). En aquest context, el model ens prediria l'ordre de magnitud del retrocés esperat al llarg de la cel·la costanera del delta del Llobregat, i els gradients locals identificats anteriorment modificarien espacialment el comportament real.

El model de Bruun prediu que amb una pujada del nivell mitjà del mar es produeix un moviment cap a la terra i cap amunt del perfil mitjà de la platja, la qual cosa dona lloc a un retrocés de la línia de costa, R , determinat per l'expressió següent (Figura 31).

$$R = PNM \frac{L}{(B + h_*)} \approx PNM / \beta_{act}$$

En aquesta fórmula, PNM és la pujada del nivell del mar, B és l'alçària de berma/duna de la platja activa, h_* és la profunditat activa o de tancament, L és la distància entre B i h_* i β_{act} és el pendent mitjà de la plataforma interna, on es produeixen els canvis en el perfil de la platja. Per a reduir la incertesa en la selecció de la profunditat activa a la zona d'estudi a escales de temps relativament llargues (p. ex., Ranasinghe i Stive, 2009), en comptes de seleccionar una profunditat específica, s'han utilitzat els valors característics del pendent de la plataforma interior a la zona, calculats des de la línia de costa fins a 10 m de profunditat.

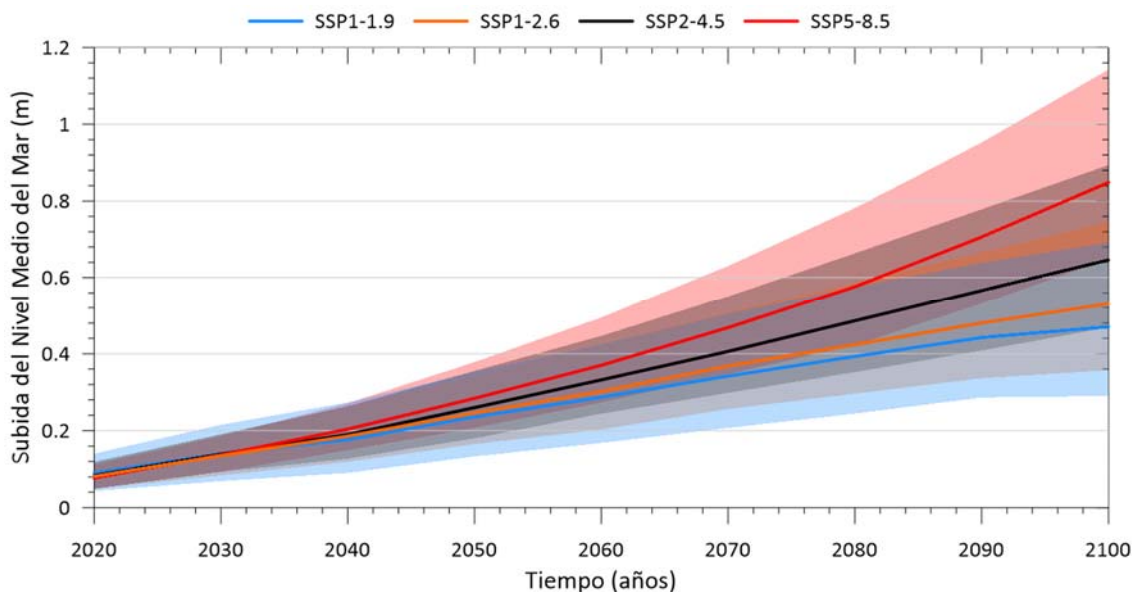
Figura 31. Resposta geomètrica del perfil de platja a la pujada del nivell del mar segons el model de Bruun



Font: Bruun (1962).

A l'hora d'avaluar l'efecte de la pujada del nivell del mar, és necessari definir amb quines condicions s'estimarà el retrocés de la platja. Per fer-ho, en aquest treball es consideren els escenaris de pujada del nivell del mar definits pel Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC) en el seu sisè informe d'avaluació, *Sixth Assessment Report* (AR6) (Fox-Kemper *et al.*, 2022), que es mostren a la Figura 32 (Garner *et al.*, 2022). Per a posar en context els escenaris que s'han pres en consideració, l'augment de la temperatura global en el període 2081-2100 (en relació amb el de 1850-1900), amb una probabilitat com a mínim del 90 %, és el següent: SSP1-1.9 (1,0 °C - 1,8 °C); SSP1-2.6 (1,3 °C - 2,4 °C); SSP2-4.5 (2,1 °C - 3,5 °C); SSP5-8.5 (3,3 °C - 5,7 °C).

Figura 32. Projecció de la pujada del nivell mitjà del mar a Barcelona en relació amb el període 1995-2014 per a diferents escenaris climàtics d'acord amb l'AR6



Font: Garner *et al.* (2022).

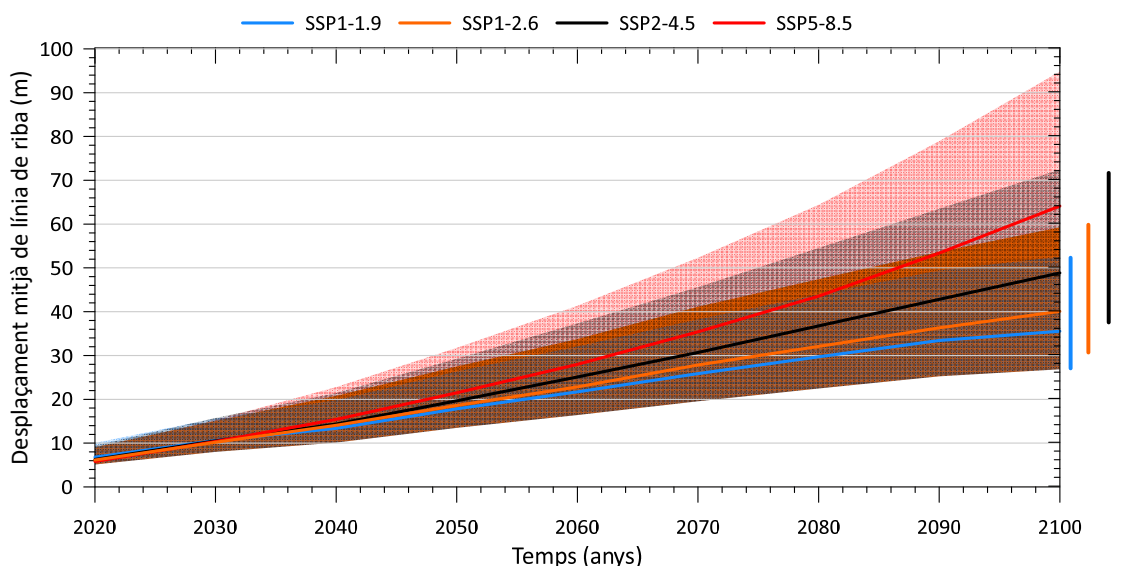
A la Figura 33 es pot veure l'estimació de la contribució de la pujada del nivell del mar en el retrocés general de les platges característiques de la zona d'estudi en els diferents escenaris. Aquest component s'ha avaluat tenint en compte la possible variabilitat espacial en el pendent al llarg de tot el tram. Per a fer-ho s'han pres diferents perfils al llarg de la cel·la costanera a partir d'una batimetria recent i s'ha caracteritzat el pendent a través d'un valor mitjà (μ) i una desviació estàndard (σ). El valor del retrocés que es mostra a la figura es correspon amb un valor mitjà i una banda de confiança delimitada pels valors del pendent associat a $\mu+\sigma$ i $\mu-\sigma$. Els valors que s'han obtingut en dos horitzons temporals (2050 i 2100) es presenten a la Taula 5. Com es pot veure, el retrocés mitjà induït per la PNM assoleix valors semblants fins a l'any 2050 (d'uns 20 m) i, a partir d'aquesta data, i a causa de les diferències que hi ha entre les diverses situacions, la magnitud del retrocés de la costa varia significativament entre escenaris i assoleix, per al 2100, un rang de valors mitjans d'entre 36 m, en l'escenari més optimista (SSP1-1.9), i 64 m, en l'escenari més pessimista (SSP5-8.5). En qualsevol cas, s'ha de tenir en compte que en aquestes estimacions no s'ha considerat el possible efecte local de subsidència al delta, que pot incrementar localment la PNM i, en conseqüència, el retrocés de la línia de costa.

Taula 5. Retrocés mitjà de la línia de vora per a la cel·la costanera del delta del Llobregat predit pel model de Bruun sota la PNM per a diferents escenaris climàtics d'acord amb l'AR6 (Figura 32) a mitjà (2050) i llarg termini (2100) [μ : predicció per al pendent mitjà del tram; ($\mu+\sigma$, $\mu-\sigma$): predicció per als pendents representatius de la variabilitat espacial.]

Escenari	2050		2100	
	μ	($\mu+\sigma$, $\mu-\sigma$)	μ	($\mu+\sigma$, $\mu-\sigma$)
SSP1-1.9	18	13-26	36	27-53
SSP1-2.6	19	14-28	40	30-59
SSP2-4.5	20	15-29	49	37-72
SSP5-8.5	21	16-32	64	48-95

Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Figura 33. Projectió del retrocés mitjà de la línia de vora per a la cel·la costanera del delta del Llobregat predit pel model de Bruun amb la PNM per a diferents escenaris climàtics d'acord amb l'AR6 (Figura 32) [Cada línia es correspon amb la predicció per al pendent mitjà del tram i la zona ombrejada delimita valors de pendents donats per $(\mu+\sigma, \mu-\sigma)$. Les línies verticals a la dreta del gràfic indiquen el rang de retrocés previst per a cada escenari el 2100.]



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

4. PROBLEMÀTICA I ESTRATÈGIES D'ACTUACIÓ

4.1. Model de funcionament de la costa del delta del Llobregat

A partir de l'anàlisi de l'evolució costanera experimentada per la cel·la costanera del delta del Llobregat, compresa entre la desembocadura del riu Llobregat (a l'est) i el port Ginesta (a l'oest), es pot caracteritzar el funcionament de la cel·la mitjançant els punts següents:

- Les condicions evolutives actuals que regeixen el comportament morfodinàmic de la cel·la costanera del Llobregat s'han establert a partir de l'any 2006 (anys 2006-2020 en aquest informe). Aquest període es caracteritza pel fet de tenir ja fixades les condicions de contorn als extrems, incloent-hi el desviament del riu, la construcció del dic d'endegament del marge dret i la platja de Ca l'Arana.
- El comportament mitjà de la línia de vora al llarg de la cel·la durant aquest període és erosiu, amb una taxa de retrocés mitjana d'aproximadament 1,0 m/any. Així, quan la taxa es va calcular mitjançant l'LR (fent servir totes les línies de vora disponibles) el valor que es va obtenir va ser de -0,8 m/any, mentre que mitjançant l'EPR (fent servir només la línia de vora inicial i final) va ser de -1,3 m/any.
- S'ha detectat un canvi de tendència de l'evolució de la línia de vora des de l'any 2017, quan, de manera pràcticament generalitzada, passa de mostrar un comportament estable a mostrar un comportament altament erosiu, o a accelerar el procés erosiu, en el cas que n'hi hagués. Aquest període es correspon amb un augment en la presentació de condicions d'onatge intens, amb una freqüència i una intensitat de temporals elevada, especialment

durant els anys 2019 i 2020. Malgrat que el període és relativament curt per a poder-lo considerar com un canvi persistent, la taxa d'erosió mitjana estimada per a la cel·la en conjunt durant el període des del 2017 fins a començaments del 2021 és d'11 m/any.

- El comportament observat de la línia de vora està regit, en bona part, per un esquema de transport longitudinal net de sediments al llarg de la cel·la en direcció d'est a oest. Els canvis en l'orientació de la línia de vora i les variacions en les característiques de l'onatge a causa de la seva propagació determinen una capacitat de transport de sediment variable al llarg de la costa, amb la taxa més elevada a la part orientada cap al SE i amb un decreixement al tram que s'orienta cap al sud, de manera que aquesta transició es produeix al llarg de la costa de Gavà, la zona amb més curvatura.
- Aquesta variabilitat espacial de la capacitat de transport i les condicions de contorn que hi ha són les responsables de les variacions observades en la línia de costa al llarg de la cel·la. Les principals condicions de contorn que hi ha són: (i) l'espigó d'endegament del Llobregat a l'extrem NE de la cel·la, que fa de contorn amb transport nul; (ii) el revestiment d'escullera al llarg del tram Caserna dels Carabiners - Escola de Vela del Prat, que limita la quantitat de sediment disponible per a ser transportat al llarg d'1,6 km (el sediment que s'erosionés d'aquella zona alimentaria les platges a ponent); (iii) petits espigons a les goles, que alteren localment el transport a llevant i a ponent; (iv) el port Ginesta a l'extrem oest, que actua com una barrera a la sortida de sediment de la cel·la per transport longitudinal; (v) l'alimentació periòdica a la platja del Prat, que representa l'única font de sediment per a la cel·la, i (vi) el dragatge aigües someres a la rodalia del port Ginesta, que genera una pertorbació local en l'estabilitat de la platja i actua potencialment com un embornal de sediment.
- El retrocés mitjà estimat per a la totalitat de la cel·la reflecteix una situació de dèficit de sediment, amb un volum perdut mínim de l'ordre d'uns 60.000 m³/any. Si considerem que cada any s'hi fa una aportació d'uns 100.000 m³/any, la pèrdua total de sediment és com a mínim d'uns 160.000 m³/any. A l'hora de valorar aquesta pèrdua, s'ha de tenir en compte que aquests volums s'han quantificat pel que fa a la seva aportació a la modificació de la línia de vora. És a dir, en el cas que es mantinguessin dins de la cel·la sedimentària perquè s'haguessin perdut per un transport cap a la part submergida i es trobessin dins del perfil actiu, es considerarien una *pèrdua de volum efectiu*, ja que no contribueixen de manera eficient a l'estabilitat de la línia de vora.
- Al llarg de tota la cel·la s'han detectat oscil·lacions en la línia de vora de baixa freqüència que impliquen modificacions temporals de l'amplada de platja que localment poden ser insuficients per a protegir la part interna de l'impacte dels temporals.
- A llarg termini, l'erosió prevista per la PNM a la zona és significativa i s'hi estima un retrocés d'uns 20 m per al 2050 i d'uns 50 m per al 2100. Aquest retrocés és addicional al que és degut a la dinàmica litoral actual, per la qual cosa s'espera que les condicions evolutives de la cel·la costanera empitjorin quant a estabilitat.
- Finalment, en aquest model es considera que el paper actual del riu Llobregat en l'estabilitat de la línia de vora és reduït, pràcticament nul (vegeu, p. ex., El retrocés del delta del Llobregat, Martín-Vide *et al.*, 2020). La major part de sediments que aporta el riu són materials fins que romanen en suspensió i es perden cap a la plataforma (Figura 34). Addicionalment, el material més groller que pogués ser transportat en condicions d'avinguda, en estar la desembocadura endegada pel dic del marge dret, es dipositaria a profunditats

relativament elevades i protegides per la presència del dic del port, per la qual cosa la seva incorporació a la dinàmica litoral seria reduïda.

Figura 34. Vista de la desembocadura del riu Llobregat en condicions d'avinguda



Font: Jordi Martín García, 2018.

4.2. Diagnòstic de la problemàtica a la costa del delta del Llobregat

A continuació, es caracteritza la problemàtica identificada a la cel·la associada amb l'evolució costanera. Per a fer-ho, s'ha dividit la cel·la en trams d'acord amb el comportament observat, les condicions locals i les unitats administratives (Figura 35).

Figura 35. Sectors al llarg de la cel·la costanera del delta del Llobregat



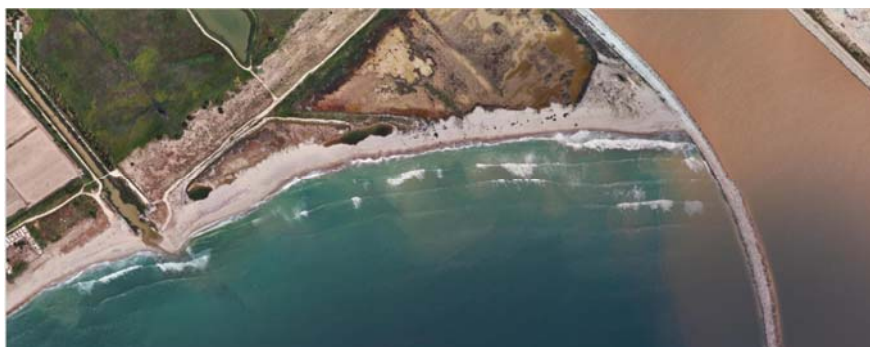
Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

4.2.1. TM del Prat de Llobregat

El tram situat més al nord de la cel·la, **la platja de Ca l'Arana**, malgrat que tingui les taxes d'erosió més importants, no presenta, actualment, cap problemàtica associada. És una platja molt ampla, de caràcter natural i amb un gran espai d'acomodació a l'interior (el tram més estret és el que se situa a l'extrem oest, suportat a la sortida del canal de la Bunyola, amb una distància actual d'uns 80 m fins a l'obstacle interior més pròxim, un camí de terra que es podria eliminar si calgués). Per això, la platja podria anar reconstruint-se i migrant cap a l'interior de manera natural a mesura que vagi sent erosionada. A la Figura 36 es pot veure el cordó de platja format per depassament d'onatge a mesura que la línia de vora ha anat retrocedint.

A l'hora de valorar l'erosió d'aquest tram, s'ha de tenir en compte que la platja és d'origen artificial i que el seu objectiu era ser una «platja de sacrifici», de manera que la seva erosió servís per a anar alimentant les platges a ponent de manera natural per mitjà del transport longitudinal induït per l'onatge típic de la zona.

Figura 36. Platja de Ca l'Arana en condicions actuals (2020)



Font: Google Earth.

El tram següent s'estén des de la **Caserna dels Carabiners** fins a l'**Escola de Vela del Prat**. Aquest sector originalment sotmès a un retrocés continuat de la línia de vora ha sigut modificat de manera significativa i, per tant, les seves condicions actuals no tenen res a veure amb les esperables en un delta natural i són radicalment diferents de les que hi havia quan hi dominava l'erosió. Actualment, és un sector en què s'ha construït un mur o un revestiment d'escullera que discorre paral·lel al llarg de la vora, amb una extensió aproximada d'1,6 km i una única obertura per a la gola de la llacuna de la Ricarda (Figura 37).

L'objectiu d'aquest mur és protegir la canonada del sistema de captació d'aigües de la dessalinitzadora del Llobregat, que discorre paral·lela a la línia de vora (Figura 38), ja que l'erosió costanera n'havia incrementat l'exposició a l'acció de l'onatge. L'únic tram en què no s'ha construït aquesta infraestructura de protecció és al llarg de la platja de Ca l'Arana, ja que amb la seva presència i amb les característiques que té (amplada més que suficient), la platja mateixa ja proveeix la protecció necessària.

Figura 37. Configuració actual de la vora costanera des de la Caserna dels Carabiners fins a l'Escola de Vela del Prat (2020)



Font: Google Earth.

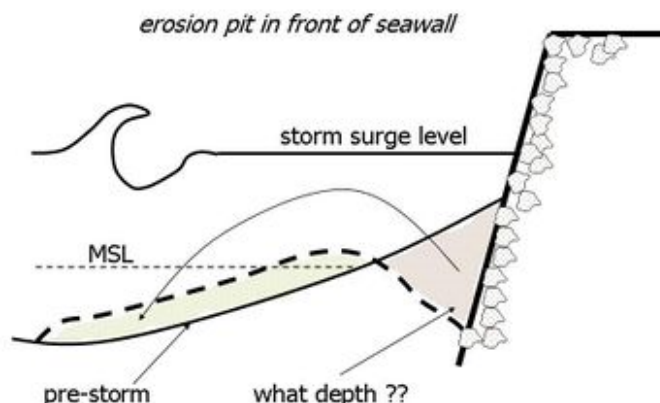
Malgrat que això vol dir que la línia de costa ocuparà de manera més o menys permanent la posició actual del mur (que es correspon amb la vora del 2014-2015), l'exposició contínua a l'acció de l'onatge, així com l'evolució prevista a llarg termini, afectaran les condicions de la zona. Així, l'erosió del llit davant de l'estructura (tant per l'acció de la dinàmica longitudinal com per l'evolució a llarg termini deguda a la PNM) i l'acció directa de l'onatge faran que la profunditat davant del mur vagi augmentant al llarg del temps i que s'hi pugui produir un soscavament en condicions de temporal (Figura 39), com va passar durant el temporal Gloria, en què l'escullera es va enfonsar parcialment. La probabilitat que passi dependrà de la secció adoptada per a aquest revestiment.

Figura 38. Traçat de la canonada del sistema de captació de la dessalinitzadora del Llobregat (Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat, ATL)



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

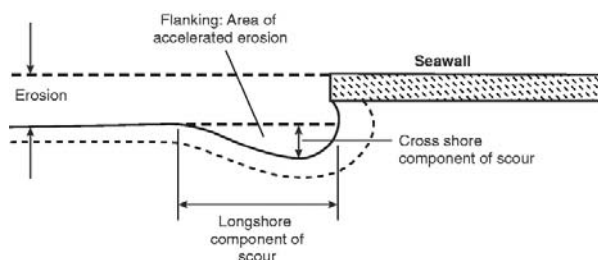
Figura 39. Soscavament a peu de revestiment exposat a l'acció de l'onatge



Font: Ens d'Abastament d'Aigua Ter-Llobregat (ATL).

A més, la presència del mur afectarà les condicions de la costa adjacent aigua avall, ja que, en limitar la quantitat de sediment disponible per a ser transportat per la dinàmica litoral i en la interacció amb l'onatge incident, n'accelerará l'erosió, un efecte conegut com a *flanking* (Figura 40). Per tant, aquest efecte acceleraria l'erosió al tram situat aigua avall de l'Escola de Vela, com ja es va detectar en el darrer temporal del mes de març, quan aquest efecte erosiu va avançar uns 600 m cap al sud.

Figura 40. Acceleració de l'erosió aigua avall d'un revestiment



Font: Summers *et al.* (2018).

El tram següent s'estén des de l'**Escola de Vela del Prat** fins a la **gola del Remolar**. Aquest és un sector erosionat que des de l'any 2007 ha rebut aportacions periòdiques de sediment com a mesures compensatòries de la declaració d'impacte ambiental (DIA) de l'ampliació del port de Barcelona. Tanmateix, el tram continua erosionant-se amb taxes relativament elevades. Així, actualment (2020), el volum de sediment aportat (d'uns 1,6 milions de m³) ha permès mantenir la posició de línia de vora al llarg de la major part del tram en la posició aproximada que tenia el 2006 (tot i que amb aquella configuració la part més a l'est ja tenia una amplada de platja relativament estreta). A causa del fet que les taxes d'erosió són més elevades que les previstes per al tram, doncs, s'ha aportat més sediment del que es necessitaria. No obstant això, com que el sediment d'aportació és més fi que el material original, l'eficiència clarament disminueix.

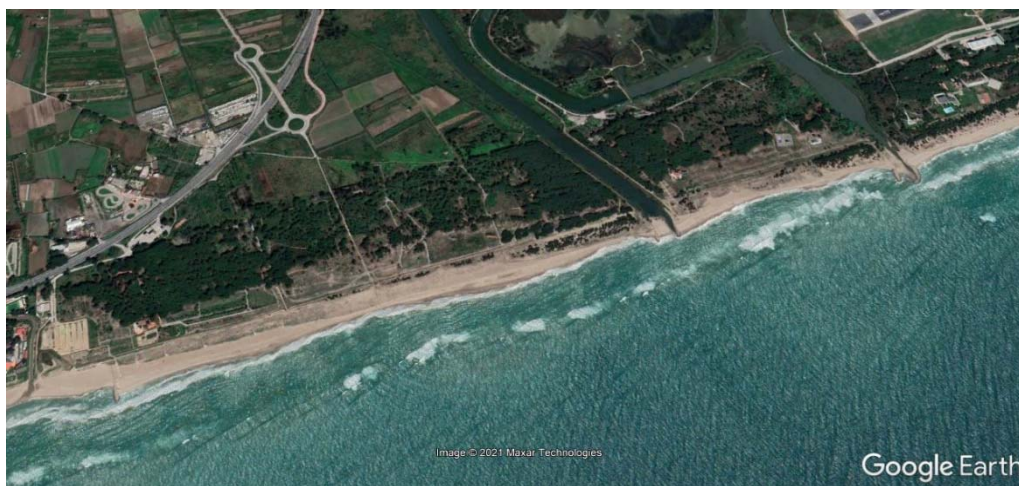
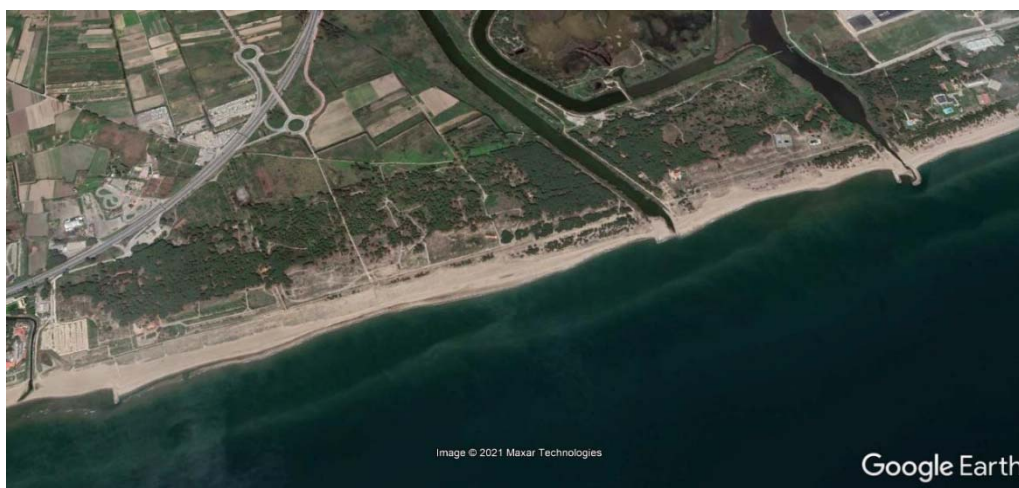
En l'extrem nord-est, l'amplada de platja és relativament reduïda. A més, l'acció de temporals pot disminuir instantàniament la platja que hi ha i exposar el vial que hi discorre paral·lelament. S'ha de tenir en compte que aquest tram està afectat per la presència del revestiment aigua amunt, cosa que n'accelera l'erosió natural.

Figura 41. Aspecte de la platja del Prat aigua avall de l'Escola de Vela (2020)



Font: Google Earth.

Figura 42. Oscil·lacions de línia de vora al llarg de la costa del TM de Viladecans (2020)



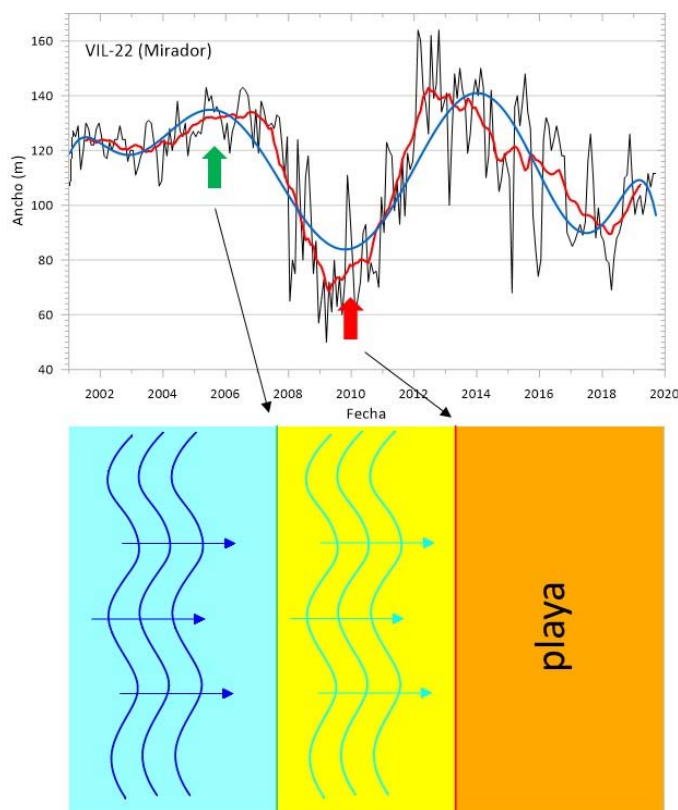
Font: Google Earth.

4.2.2. TM de Viladecans

Aquest tram s'estén des de la gola del Remolar fins a l'espigó curt situat al marge esquerre del canal de la Murtra. És una platja natural amb un espai d'acomodació apropiat i no té construccions ni infraestructures significatives a la part interna. La costa és lleugerament erosiva, amb les taxes d'erosió més elevades a l'extrem situat aigua avall de l'espigó del Remolar, la qual cosa és consistent amb una dinàmica influenciada pel transport longitudinal. A més d'aquesta dinàmica, aquest sector experimenta oscil·lacions al llarg de la línia de costa (vegeu l'informe anterior i la Figura 42), que fan que alguns trams redueixin significativament l'amplada de manera episòdica, fet que permet que l'onatge impacti durant els temporals sobre el costat terra, ocupat per dunes litorals (Figura 43).

L'erosió progressiva de la platja, tant a mitjà com llarg termini, augmentarà l'exposició d'aquestes dunes a l'acció de l'onatge durant els temporals, tal com s'ha posat de manifest amb el Celia, en què les dunes s'han vist afectades i han realitzat la funció de protecció aportant sorra. Tanmateix, això també n'implicarà una degradació en absència d'un subministrament adequat de sorra, degut al fet que aquests episodis seran cada cop més freqüents i que la zona està sotmesa a un dèficit sedimentari. En qualsevol cas, la conseqüència final seria la reconstrucció natural del perfil de platja i duna progressivament terra endins mentre existeixi espai d'acomodació sense cap mena d'obstacle a la migració horitzontal.

Figura 43. Esquematzació de la variació en la capacitat de protecció davant l'impacte de temporals en funció de les fluctuacions de baixa freqüència de l'amplada de platja



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

4.2.3. TM de Gavà

El tram de platja de Gavà es troba a la zona de més curvatura de la costa del delta del Llobregat, entre l'espigó del **canal de la Murtra** (a l'est) i la **platja de la Pineda** (a l'extrem oest). La platja està sotmesa a una dinàmica lleugerament erosiva que s'ha intensificat durant els últims anys. A més, es detecten grans oscil·lacions en la posició de la línia de vora, tal com es posava de manifest als *Estudis previs per a l'estabilització de les platges de Gavà i Viladecans*, de desembre del 2019. Aquestes oscil·lacions, tal com passava al sector anterior, fan que localment l'amplada de platja es vegi massa reduïda per a poder protegir de forma eficient la part interna de l'impacte dels temporals (Figura 44).

Figura 44. Oscil·lacions de línia de vora al llarg de la costa del TM de Gavà (2020)



Font: Google Earth.

A diferència de Viladecans, en aquest tram hi ha aproximadament un quilòmetre de costa en què el costat terra de la platja està urbanitzat, per la qual cosa la disminució de l'amplada de la platja (ja sigui per l'erosió a mitjà termini actualment present o per les oscil·lacions que s'han esmentat abans) genera un problema en exposar les construccions a l'acció dels temporals (Figura 45).

Figura 45. Esquematització de la capacitat de protecció de la platja en funció de la variació en amplada [La zona ombrejada representa l'amplada de platja erosionable sota l'impacte d'un temporal d'un determinat període de retorn.]

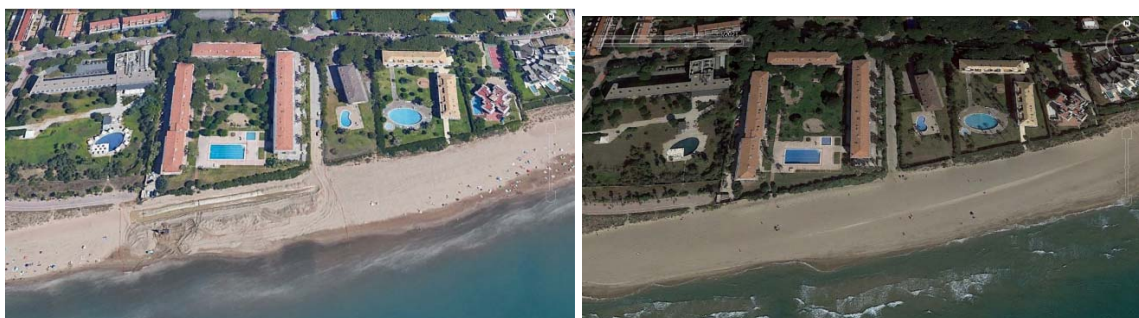


Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

Consegüentment, avui dia ja es detecten aquests problemes a la part est (carrer de Blanes), on s'ha instal·lat una protecció longitudinal formada per un tub de geotèxtil reblert de sorra (Figura 46). En qualsevol cas, s'ha de tenir en compte que, a causa de la dinàmica de la zona, tant a mitjà com a llarg termini, és esperable que aquesta protecció quedi exposada a l'acció de l'onatge i el seu grau d'efectivitat en termes de protecció dependrà de l'estabilitat que tingui davant d'aquestes condicions.

En darrer lloc, cal destacar que, a causa de l'absència d'espai d'acomodació i de la poca amplada de platja que hi ha al llarg d'aquesta zona urbanitzada, a llarg termini, l'efecte de la PNM suposarà una situació de risc a la zona, ja que l'exposició a l'acció de l'onatge augmentarà progressivament i amb temporals cada cop més petits n'hi haurà prou per a afectar les propietats.

Figura 46. Protecció longitudinal amb un tub de geotèxtil a la platja de Gavà [Esq.: durant la construcció; dta.: cobert en condicions de subministrament sedimentari (2020).]



Font: Universitat Politècnica de Catalunya.

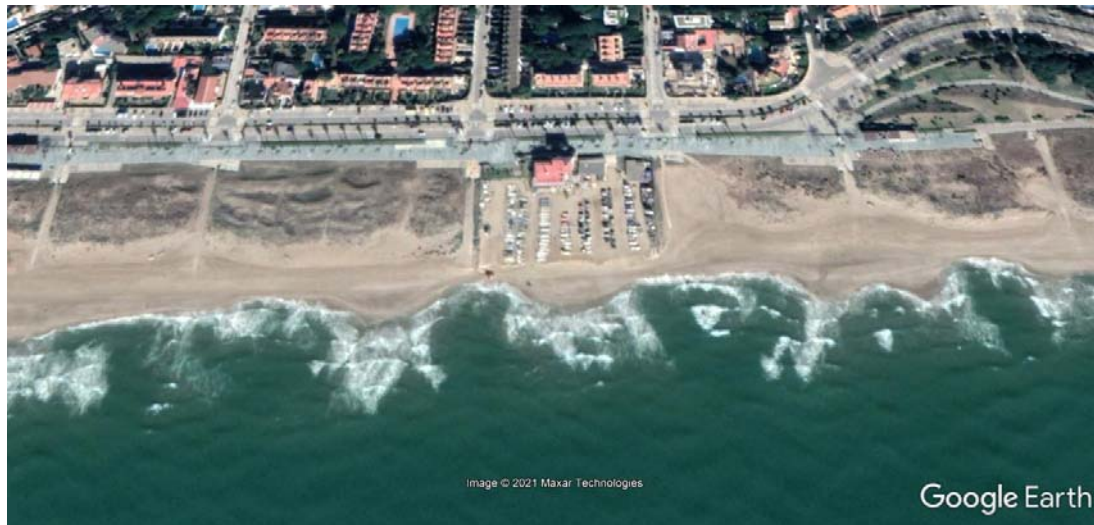
4.2.4. TM de Castelldefels

El tram de costa de Castelldefels es troba a la part del delta més orientada cap al sud, on la intensitat del transport longitudinal decreix. Tradicionalment, aquesta zona s'havia comportat com un tram de costa estable o acumulatiu i, de fet, continua sent-ho, tot i que les taxes s'han reduït i a l'extrem més a l'est, aqua avall del TM de Gavà, la tendència ha canviat i la línia de costa està retrocedint.

El tram està pràcticament del tot urbanitzat i, per tant, l'espai d'acomodació que hi ha és el que delimita el passeig marítim. A diferència del que passava en el cas de Gavà, actualment la platja és prou ampla per a prestar protecció durant l'impacte de temporals i, a més, hi ha una duna longitudinal al llarg de tot el tram davant del passeig.

Una de les zones on no passa això és al Club Marítim de Castelldefels, que, com que ocupa pràcticament tota la platja, es pot veure afectat durant l'impacte de temporals (Figura 47). En aquest punt convé destacar el canvi de tendència observat en el comportament a mitjà termini, les oscil·lacions que també experimenta la línia de vora i la previsió d'erosió a llarg termini de la zona, per la qual cosa és esperable que la interacció entre les instal·lacions del Club Marítim i la dinàmica de l'onatge s'incrementi significativament. A més llarg termini, l'erosió induïda per la PNM, juntament amb el canvi de tendència mencionat, pot significar un risc per a la totalitat de la zona degut a l'absència d'espai d'acomodació.

Figura 47. Platja de la Pineda (Castelldefels) a l'emplaçament del Club Marítim (2020)



Font: Google Earth.

4.2.5. TM de Sitges

Finalment, el sector situat aigua avall de la cel·la és el tram de platja suportat al dic d'abric del port Ginesta, a les Botigues. Aquest tram fou tradicionalment un sector hiperestable que rebia el sediment que es transportava cap a l'oest per la dinàmica longitudinal. Tanmateix, des de l'any 2008, es detecta un retrocés continuat de la línia de vora de la part adjacent al port (al llarg d'uns 900 m). Aquesta erosió local s'ha associat a la influència del dragatge en aigües someres (des del punt de vista de la dinàmica sedimentària) per a l'extracció de sediment per a l'alimentació de les platges del Prat. Actualment, l'ample de platja és suficient per a donar protecció al rerepaís (*hinterland*) davant l'impacte de temporals. El tram situat més a l'est presenta un comportament similar al de l'extrem oest de Castelldefels, ja que tots dos formen el mateix tram des del punt de vista dinàmic, és a dir, d'avançament de la línia de vora.

En darrer lloc, i de caràcter general a la totalitat del tram, cal fer una sèrie de consideracions:

- Si es manté la tendència d'acceleració de l'erosió observada des del 2017, els problemes que s'esmenten aquí es podrien agreujar o, en zones en què ara la platja és prou ampla per a presentar aquests problemes, podrien començar a patir-los de manera esporàdica.
- A llarg termini, l'efecte de la PNM significarà un retrocés de la línia de costa d'uns 20 m, el 2050, i d'uns 50 m, el 2100. Aquest retrocés és addicional al que provoca l'acció de la dinàmica litoral que es manifesta avui en dia. Així doncs, tret que canviïn les condicions de la cel·la quant al subministrament sedimentari, el retrocés de la costa generarà problemes a totes les zones que no disposen d'espai d'acomodació, és a dir, a totes les zones urbanitzades.

4.3. Estratègies d'actuació a la costa del delta del Llobregat

En primer lloc, independentment de l'estratègia que es triï, atesa la variabilitat espacial i temporal actual en la resposta de la línia de costa, es recomana mantenir un **pla de monitoratge de l'evolució costanera**. Amb això es podrà quantificar la magnitud dels processos i problemes que hi hagi, identificar canvis en la tendència evolutiva, avaluar i preveure la necessitat d'actuar en determinades parts de la cel·la i quantificar la resposta del sistema a qualsevol actuació sobre el territori. En aquest sentit, aquest pla de monitoratge servirà com una eina de control dins d'un sistema de gestió adaptativa.

- Així, es planteja un monitoratge de la línia de costa a diferents escales temporals. A curt termini, es recomana mantenir el sistema de monitoratge que actualment té implementat l'AMB, en què s'amida l'ample d'una sèrie de perfils de control al llarg de la costa mensualment. Aquestes dades serviran per a quantificar els canvis de curt període o estacionals que es produeixen a la platja i que en determinen les fluctuacions en l'amplada, com ara la resposta a l'impacte de temporals i els seus cicles de recuperació. A més llarg termini, l'ús de fotografia aèria a escala anual (escala adoptada per l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya, ICGC, al llarg de tota la costa catalana) permetrà tenir una cobertura espacial completa de la cel·la i avaluar-ne l'evolució a mitjà termini. En aquest punt convé destacar la disponibilitat de dades de satèl·lit (Sentinel) amb una alta freqüència de mostreig. A mesura que avancin les tècniques de mostreig i anàlisi en l'àmbit del subpíxel (ara tenen una precisió de 10 m), n'augmentarà la utilitat amb aquest propòsit i permetran una avaluació pràcticament en continu de l'evolució de la costa deltaica.
- Atesa la incertesa quant als volums de sediment que aquests canvis impliquen, es recomana complementar aquesta informació amb campanyes topobatimètriques, amb una periodicitat aproximada de 2 anys. A més, les oscil·lacions detectades a la línia de vora, així com l'existència de sistemes de barres al llarg de la costa, en fan convenient el seguiment, com a mínim en zones seleccionades on la seva freqüència de presentació o la magnitud tenen implicacions en l'estabilitat local (p. ex., en algunes zones de Gavà). En aquestes localitzacions es podria plantejar el seguiment per mitjà de sistemes d'observació remota basats en vídeo, com la instal·lació que hi ha a Castelldefels operada per l'Institut de Ciències del Mar (ICM/CSIC).

A continuació, partint de l'anàlisi duta a terme en aquest treball es proposen diferents tipus d'actuació a la costa deltaica d'acord amb una sèrie d'objectius estratègics, agrupats espacialment seguint l'esquema de la secció anterior.

4.3.1. Cel·la costanera total

Com que la cel·la costanera és deficitària, si l'objectiu de l'estratègia és mantenir l'estabilitat global de la línia de costa deltaica, només hi ha dues possibilitats: (i) subministrar la quantitat global de sediment perdut anualment o (ii) evitar les pèrdues.

- Quant a la primera opció, suposaria una estratègia fonamentada en aportacions periòdiques que compensessin la pèrdua de sediment. En aquest sentit, cal tenir en compte que, perquè aquesta opció sigui eficient, es necessitaria que el material aportat fos d'una granulometria compatible amb el material original, ja que les aportacions amb material més fi (com passa actualment amb el sistema de *backpass* del port Ginesta - platja del Prat) s'erosionarien més ràpidament que amb les condicions originals, per la qual cosa se'n necessitaria un volum més elevat que el que es perd actualment. Per a fer-ho, es caldria disposar d'una reserva

estratègica de sediment de qualitat i amb un volum suficient per a assegurar el manteniment d'aquesta opció a llarg termini. Aquesta reserva pot estar formada per una única font o una combinació de diverses (p. ex., dipòsits a la llera del riu, zones d'acumulació, dipòsits externs, etc.). A l'hora de dur a terme aquesta alternativa, es poden plantejar opcions que van des de grans operacions que compensin el dèficit estimat per a períodes de temps llargs (obviant les diferències d'escala, una opció és fer servir una estratègia similar a l'emprada als Països Baixos amb el *sand motor*) fins a operacions de menys escala amb més periodicitat (semblant al sistema de *backpass* actual, tot i que millorant-ne el disseny o l'execució).

- Pel que fa a la segona opció, només es podria proposar una alternativa eficient en el cas que les pèrdues estimades fossin degudes al transport longitudinal a través de l'extrem oest de la cel·la al port Ginesta. En aquest cas, l'extensió del martell al dic d'abric del port ajudaria a reduir les pèrdues mencionades. Malgrat això, s'ha estimat que una fracció molt important del sediment es perd mitjançant transport transversal cap a la part submergida. Així mateix, l'evolució prevista a llarg termini a causa de l'efecte de la pujada del nivell del mar incrementarà aquesta erosió transversal, per la qual cosa només s'evitaria la pèrdua sedimentària en el cas d'una estabilització total de la línia de costa.
- Per tot això, si l'estratègia global fos la de mantenir el balanç sedimentari del delta del Llobregat, cal comptar amb un subministrament de sediment, que ha de ser continu i, molt probablement, creixent en el temps. En qualsevol cas, l'opció d'abocar sediment al delta no implica que localment no hi puguin haver problemes, per la qual cosa el disseny final de l'aportació, quant a la distribució espacial i temporal, requereix considerar les necessitats locals al llarg de la zona.
- Els sistemes dunars són un element clau en l'estabilització i la protecció de la costa del delta del Llobregat i, per tant, cal continuar mantenint-los i millorant-los.

4.3.2. TM del Prat de Llobregat

Tal com s'ha esmentat anteriorment, el primer tram d'aquest sector, la platja de Ca l'Arana, ha estat sotmès a un comportament erosiu de gran magnitud, que n'ha reduït la superfície fins a deixar-la encaixada i estabilitzada entre els dos espigons que la limiten. De fet, l'erosió d'aquesta platja subministrava sediment a les platges situades a ponent. En el cas d'optar per una estratègia fonamentada en el fet de recuperar la continuïtat sedimentària al llarg de la costa, l'actuació recomanada seria eliminar o reduir l'espigó de la desembocadura del canal de la Bunyola per a facilitar el transport de sediment cap al sud. Això augmentaria el material sedimentari que circularia aigua avall, malgrat que implicaria més erosió de la platja. Atesa l'amplada de platja que té la major part del tram, això no suposaria un problema (sobretot a les zones pròximes a l'espigó), tot i que a l'extrem pròxim a la desembocadura del canal s'hauria de mesurar la distància a la qual es troba la canonada de captació de la dessalinitzadora i avaluar-ne la probabilitat d'exposició.

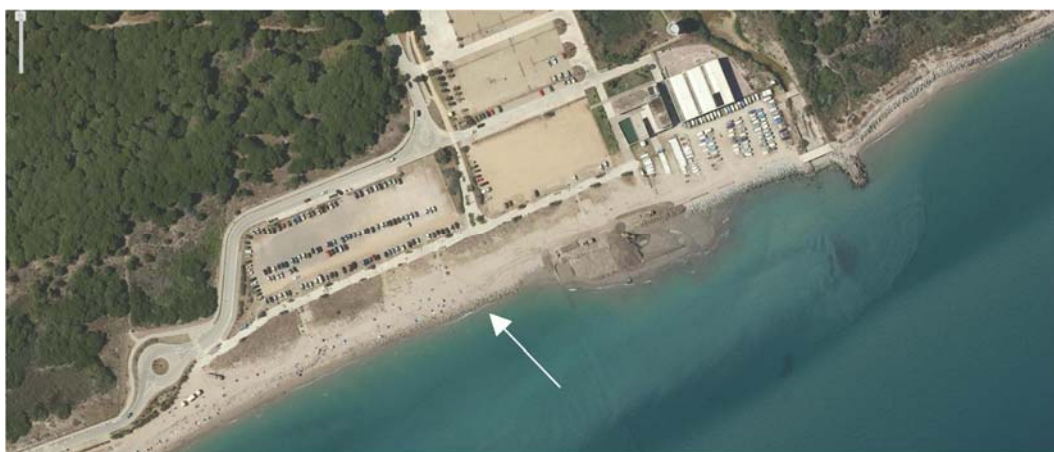
Aquesta actuació seria compatible amb l'estratègia fonamentada en aportacions de sediment per a mantenir el balanç sedimentari de la cel·la, és a dir, aquelles que assegurin una continuïtat en el transport sedimentari al llarg de la costa. En cas contrari, atesa l'absència de problemes específics, es mantindria la situació actual.

El tram següent, des de la Caserna dels Carabiners fins a l'Escola de Vela del Prat, consisteix en un revestiment d'escullera com a protecció de la canonada de captació de la dessaladora. Partint

del concepte que és una infraestructura estratègica i que no canviarà de posició, aquest sector requereix una protecció adequada davant l'acció de l'onatge. Mantenir l'*statu quo* de la zona implica mantenir una discontinuïtat sedimentària a la costa, ja que en l'actualitat actua com una condició de contorn limitant aigua avall. Per això, una estratègia basada en la «renaturalització» de la costa i en el manteniment de la continuïtat sedimentària al llarg del delta del Llobregat seria generar una platja davant de l'escullera. Aquesta opció, de fet, és la que ja plantejava la declaració d'impacte ambiental, associada a la protecció del tub de captació de la planta dessalinitzadora del Plat, en què es preveia l'aportació de 240.000 m³ de sorra en aquest punt. Malauradament, aquesta mesura no s'ha dut a terme, fet que ha accelerat l'erosió de tot aquest tram i ha provocat una manca de sediment a la zona situada a ponent.

El tram següent, des de l'Escola de Vela del Prat fins a la gola del Remolar, com que està situat aigua avall de l'escullera de protecció del tub de la dessalinitzadora, es troba afectat directament per una situació de dèficit de sediments i de sorres que s'espera que creixi amb el pas del temps, fet que n'augmentarà el retrocés esperable. Aquest dèficit i els darrers temporals han fet que sortissin a la llum uns 500 m de protecció d'escullera que poden agreujar l'efecte d'erosió i impedir l'acumulació de sorra al davant si no es prenen mesures a curt termini (Figura 48).

Figura 48. Platja del Prat (2021) [La fletxa indica la localització de roques de protecció al llarg del tram.]



Font: Google Earth.

Actualment, ja hi ha una mesura de protecció implementada, que consisteix en l'alimentació periòdica per *backpass* des del port Ginesta. Es recomana mantenir aquesta estratègia d'actuació, tot i que se n'ha de millorar el disseny i l'execució. Per a fer-ho hi ha diverses possibilitats: (i) en el cas de fer servir la mateixa font de sediment i, per tant, la mateixa granulometria, caldria augmentar els volums de sediment d'aportació; (ii) utilitzar una font de sediment amb una granulometria més compatible amb la que hi ha a la platja, o (iii) augmentar la durabilitat del rebliment mitjançant una reducció de les pèrdues modificant la dinàmica de la zona. Aquesta última opció consistiria en la construcció d'estructures que modifiquin localment l'onatge i el transport de sediment.

4.3.3. TM Viladecans

En aquest tram, atesa l'amplada de platja actual i l'absència d'infraestructures i zones urbanitzades properes a la línia de la riba, no s'ha identificat l'existència d'una problemàtica sobre edificacions ni carrers, tot i que sí que es detecta una pèrdua de territori naturalitzat en forma de dunes que forma part de la Xarxa Natura 2000. Ateses les fluctuacions que s'han observat en la línia de riba, així com les previsions d'erosió a llarg termini per la pujada del nivell mitjà del mar, es recomana mantenir

l'espai d'acomodació que hi ha actualment lliure d'obstacles, i també preservar o restaurar el cordó de dunes present a la part posterior de la platja, ja que és un mitjà de protecció natural.

La protecció d'aquest tram del litoral està molt relacionada amb el manteniment de la continuïtat en el transport de sediments des del tram situat aigües amunt (el Prat de Llobregat), de manera que qualsevol mesura implementada en aquest sector ajudarà a mantenir-ne l'estabilitat.

4.3.4. TM Gavà

Els problemes en aquest tram estan principalment relacionats amb les fluctuacions en l'amplada de la línia de riba, que fan que en determinats moments coincideixi una platja emergida estreta amb l'impacte d'un temporal capaç de generar una erosió més gran que l'amplada existent. Com que la major part del tram està urbanitzada al llarg del límit intern de la platja, la combinació que hem esmentat abans pot acabar implicant un impacte directe sobre les infraestructures i les zones urbanitzades, amb els danys que això comporta.

En el cas que no es faci cap actuació que comporti un augment o un manteniment de l'amplada de platja, caldrà fer un seguiment del comportament de la protecció longitudinal del geotèxtil que hi ha actualment, sobretot si es donen situacions d'exposició a l'acció de l'onatge. Com que l'estructura reposa sobre la platja i manté l'estabilitat pel seu propi pes, caldrà monitorar possibles moviments o descalçaments per erosió del sediment a la base.

En els darrers anys, una part dels sediments obtinguts al port Ginesta han estat utilitzats per a alimentar la zona (figura 49). El volum de sediment està limitat a uns 20.000 m³ i, malgrat que representa una millora general del balanç sedimentari en reincorporar material del final de la cel·la a una part intermèdia, té la mateixa problemàtica que la que s'ha detectat al Prat. És a dir, el sediment és més fi que el que hi ha a la platja, per la qual cosa la seva mobilitat (i pèrdua consegüent) és més elevada que la que correspondria al sediment nadiu. En altres paraules, és una alimentació ineficient a causa de la (manca de) compatibilitat del sediment. Igual que en el cas de la platja del Prat, si es volgués seguir fent aquestes realimentacions periòdiques, es recomana o bé augmentar la mida de sediment o, si no es pot, ajustar els volums d'aportació perquè tinguin la durabilitat prevista.

Figura 49. Obres d'alimentació artificial a la platja de Gavà (2021)



Font: Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC).

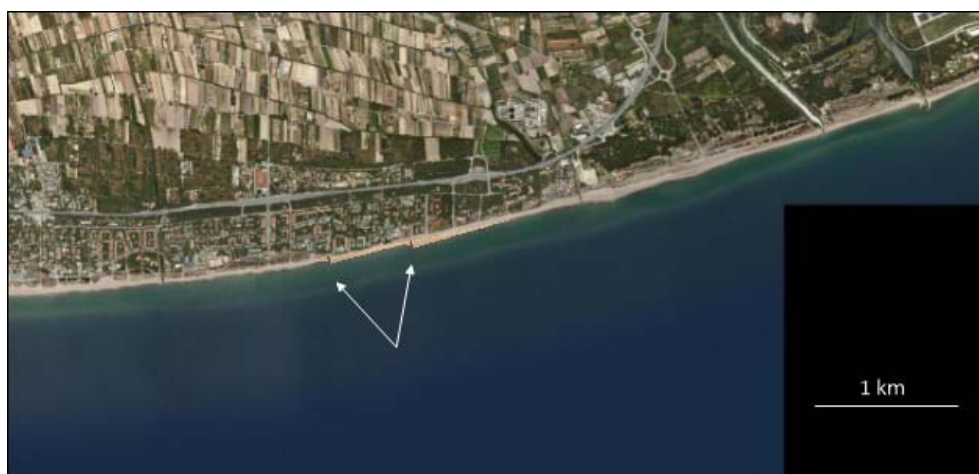
Una altra alternativa implicaria intentar mantenir l'estabilitat de l'amplada de platja. Per això es podria seguir una aproximació similar a l'observada als trams situats a l'est, on la presència

d'obstacles singulars en forma d'espigons curts depassables permet el suport d'una platja, alhora que manté la continuïtat del transport longitudinal de sediment al llarg de la cel·la. Tot i que a zones dominades pel transport longitudinal aquest tipus d'actuacions comporten un risc per a la costa aigües avall, les característiques d'aquest sector presenten una sèrie d'avantatges amb vista a aquesta mena de mesures. Un dels punts positius que cal destacar és el fet d'estar situada en una zona de transició a la cel·la, ja que el canvi d'alineació de la costa a ponent (Castelldefels) afavoreix una disminució de les taxes de transport longitudinal.

En aquestes condicions, es pot plantejar la construcció de dos espigons curts depassables que afavoreixin el suport d'una platja a llevant, alhora que permetin un transport de sediment cap a ponent (figura 50) i mantinguin la continuïtat sedimentària a la cel·la. Aquestes infraestructures han de tenir la dimensió adient perquè la reorientació de la cel·la al tram permeti en condicions òptimes (una vegada la platja arriba a l'extrem de l'espigó i la retenció és nul·la) un transport cap a ponent equivalent al que es verifica al tram aigües avall, per a evitar la generació d'un gradient local en el transport.

En qualsevol cas, perquè aquesta alternativa funcioni correctament necessita la disponibilitat de sediment aigües amunt. És a dir, cal assegurar el flux al llarg de la costa de Viladecans i el Prat.

Figura 50. Alternativa d'espigons curts depassables a la platja de Gavà



Font: ICC.

4.3.5. TM de Castelldefels

Tot i que el tram s'ha comportat de manera estable durant l'època recent, les fluctuacions que s'han observat a l'extrem est, on hi ha les instal·lacions del Club Marítim, suggereixen la necessitat de replantejar-se l'ocupació de la platja. Independentment, l'estabilitat del tram està relacionada amb la de les zones situades aigües amunt, per la qual cosa, igual que en els altres sectors de la cel·la, la continuïtat del transport sedimentari i la disponibilitat de sorra són elements indispensables.

4.3.6. TM de Sitges

Aquest tram final de la cel·la sedimentària ha canviat la tendència evolutiva i, actualment, presenta un comportament erosiu. Aquesta reculada està probablement relacionada amb els dragatges que s'han fet a la zona i, encara que l'amplada de platja actual sigui suficient perquè no hi hagi problemes locals, cal fer-ne un seguiment per a detectar disminucions de l'amplada per sota d'un valor crític que afecti la funcionalitat en un futur.

5. REFERÈNCIES

- Bruun, P. (1962). «Sea level rise as a cause of shore erosion». *Journal of the Waterways and Harbours Division*, 88, 117-130.
- Centre Internacional d'Investigació dels Recursos Costaners (CIIRC) (2010). *Llibre verd de l'estat de la zona costanera a Catalunya*. Generalitat de Catalunya.
- Crowell, M.; Douglas, B. C.; Leatherman, S. P. (1997). «On forecasting future US shoreline positions: A test of algorithms». *Journal of Coastal Research*, 13, 1245-1255.
- Dolan, R.; Fenster, M. S.; Holme, S. J. (1991). «Temporal analysis of shoreline recession and accretion». *Journal of Coastal Research*, 7, 723-744.
- Fenster, M. S.; Dolan, R.; Elder, J. F. (1993). «A new method for predicting shoreline positions from historical data». *Journal of Coastal Research*, 9, 147-151.
- Fox-Kemper, B. *et al.* (2021). «Ocean, Cryosphere and Sea Level Change». A: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press.
- Garner, G. G. *et al.* (2022). *IPCC AR6 Sea-Level Rise Projections*. Versió 20210809. PO.DAAC, CA, USA. [Data de consulta: 2022-02-15]
- Hallermeier, R. J. (1981). «A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate». *Coastal Engineering*, 4, 253-277.
- Himmelstoss, E. A.; Henderson, R. E.; Kratzmann, M. G.; Farris, A. S. (2018). *Digital Shoreline Analysis System (DSAS). Version 5.0 User Guide*. Open-File Report, 2018-1179, 110. U.S. Department of the Interior. U.S. Geological Survey.
- Jiménez, J. A.; Valdemoro, H. I.; Bosom, E.; Sánchez-Arcilla, A.; Nicholls, R. J. (2017). «Impacts of sea-level rise-induced erosion on the Catalan coast». *Regional Environmental Change*, 17, 593-603.
- Le Cozannet, G.; Garcin, M.; Yates, M.; Idier, D.; Meyssignac, B. (2014). «Approaches to evaluate the recent impacts of sea-level rise on shoreline changes». *Earth Science Reviews*, 138, 47-60.
- Nicholls, R. J.; Cazenave, A. (2010). «Sea-level rise and its impact on coastal zones». *Science*, 328, 1517-1520.

Ranasinghe, R.; Stive M. J. F. (2009). «Rising seas and retreating coastlines». *Climatic Change*, 97, 465-468.

Summers, A. *et al.* (2018). «Failure to protect beaches under slowly rising sea level». *Climatic Change*, 151(3), 427-443.

Annex 1

Evolució de la línia de riba durant el període 1990-2020

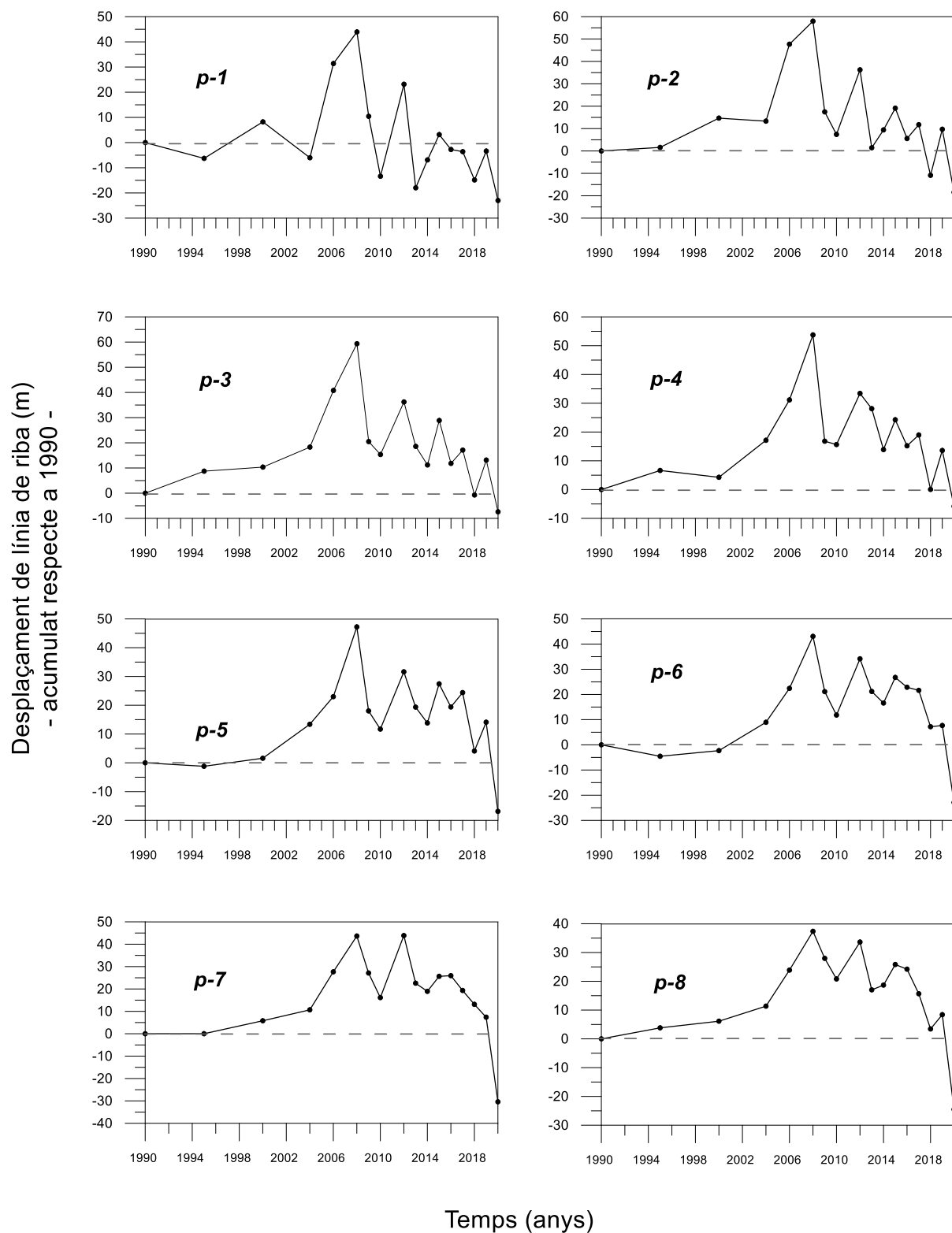


Figura A1.1. Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Sitges
(veure localització de punts de control a la figura 2.2).

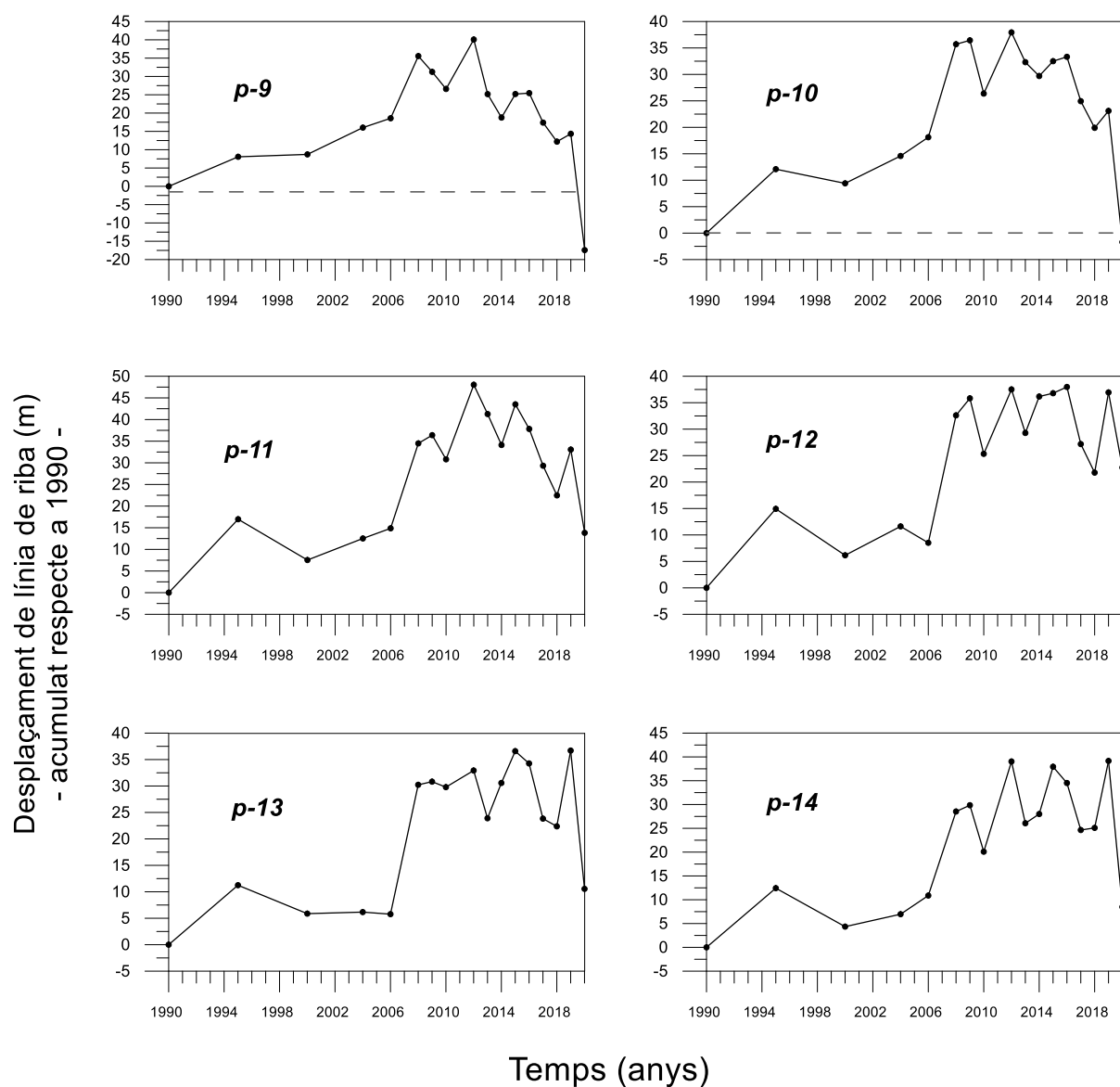


Figura A1.1 (continuació). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Sitges (veure localització de punts de control a la Figura A1.1).

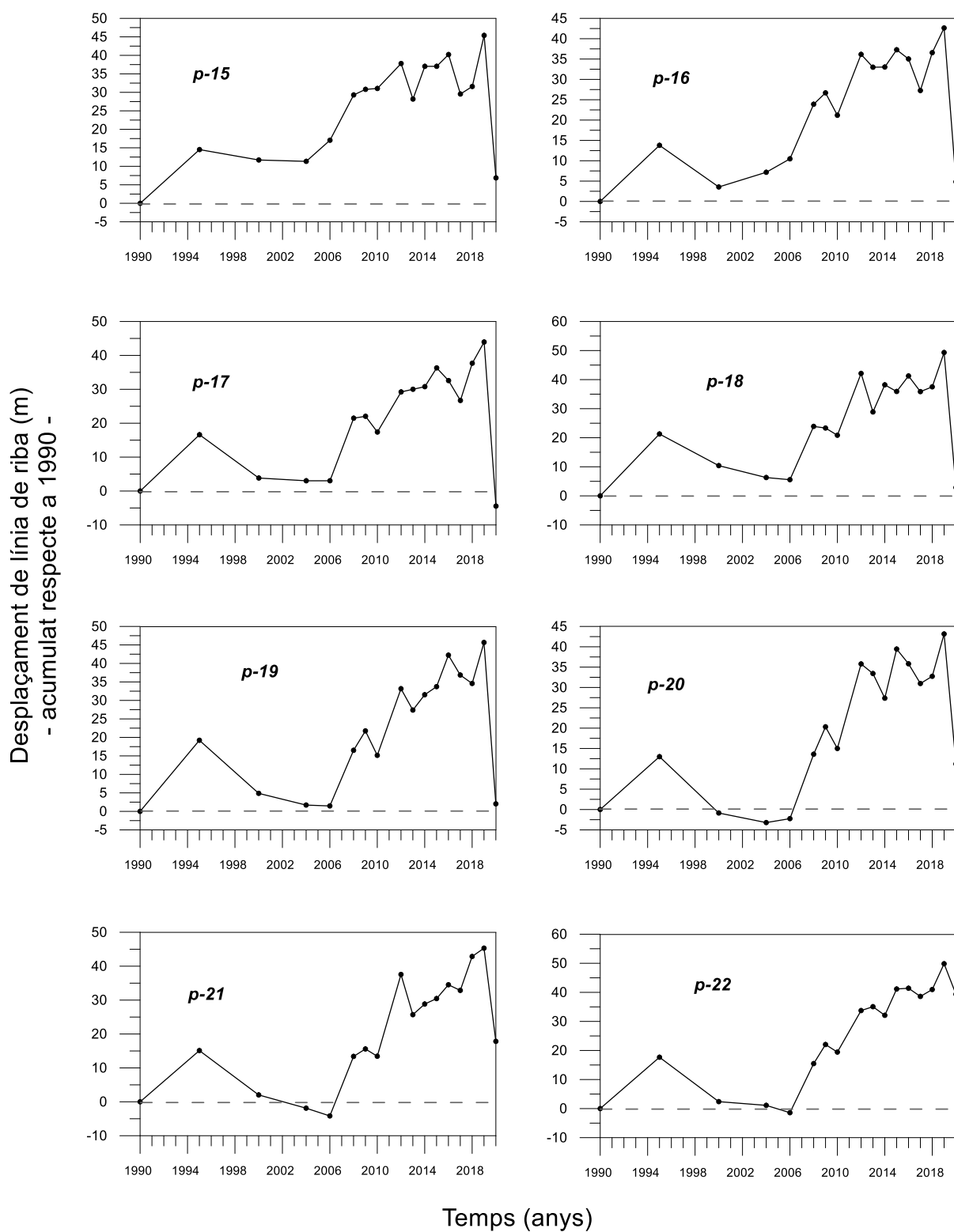


Figura A1.2. Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Castelldefels
(veure localització de punts de control a la figura 2.2).

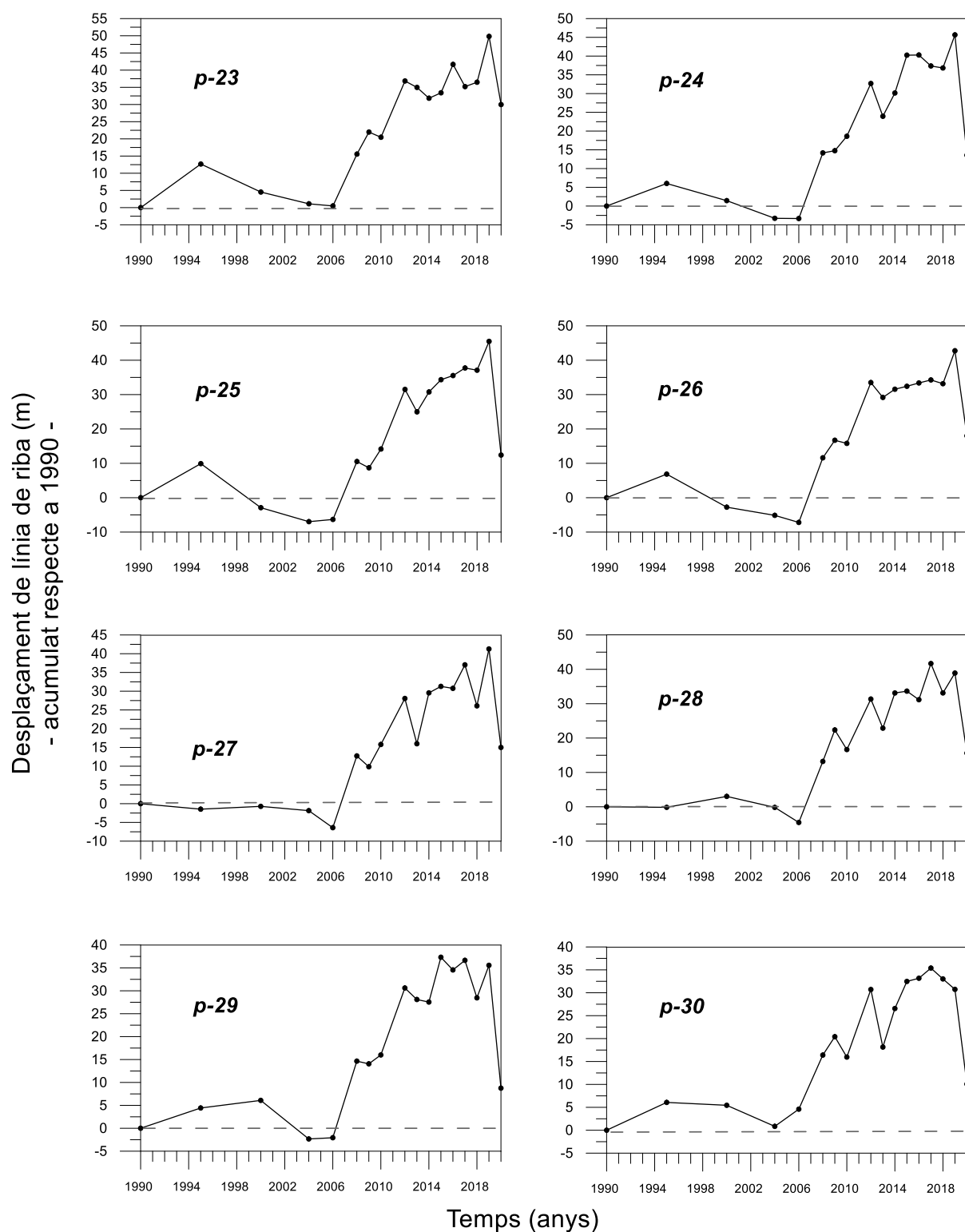


Figura A1.2 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Castelldefels (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

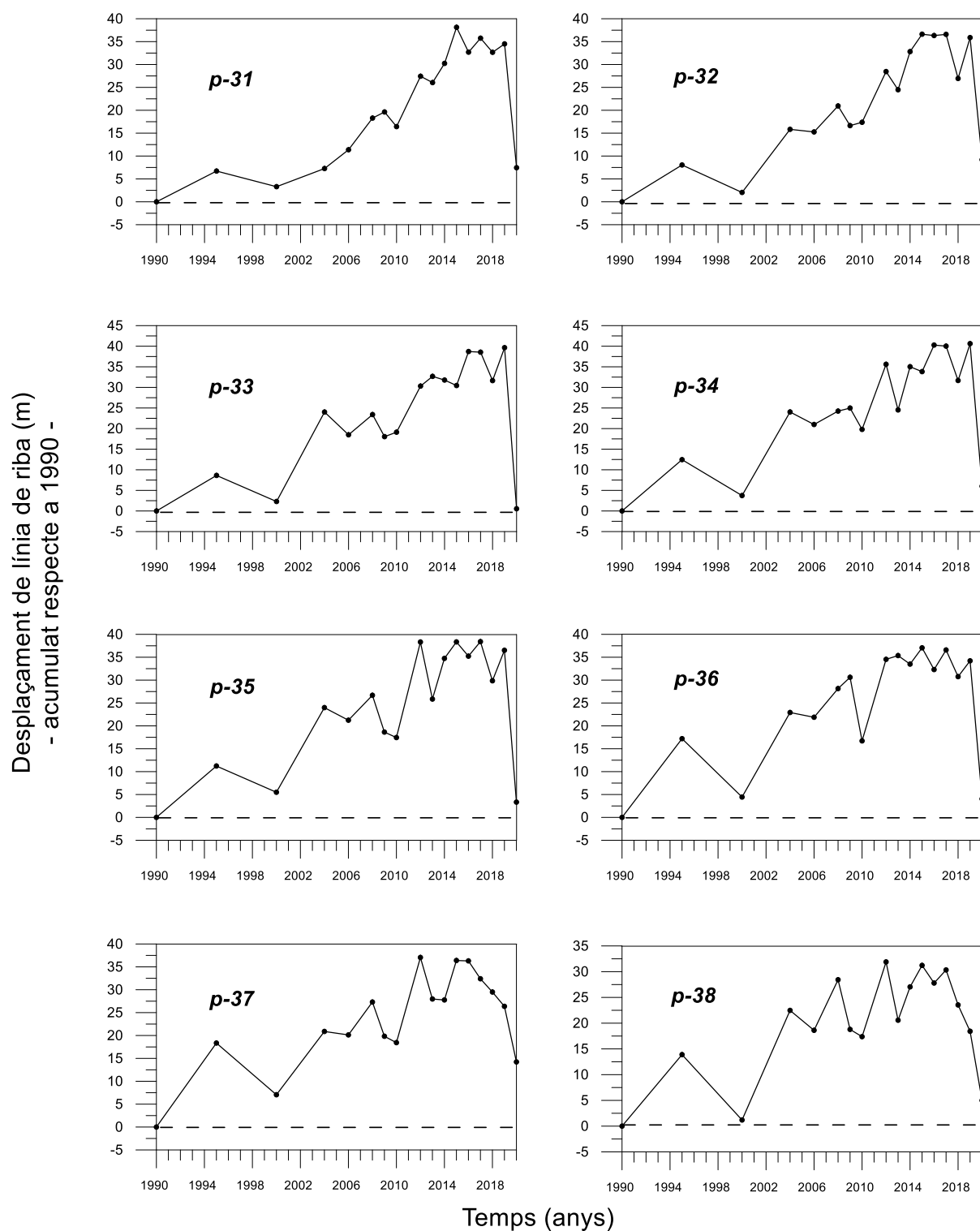


Figura A1.2 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Castelldefels (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

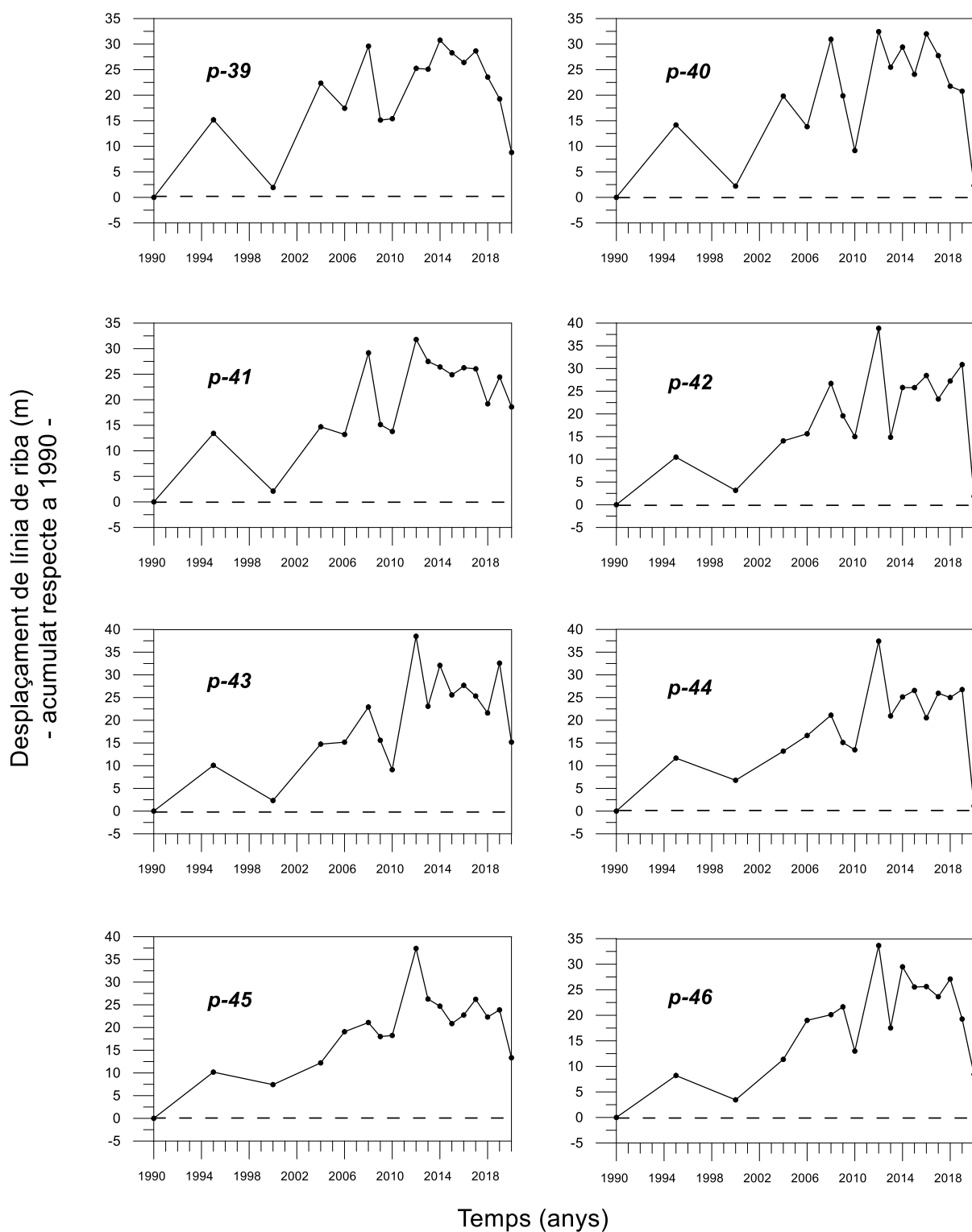


Figura A1.2 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Castelldefels (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

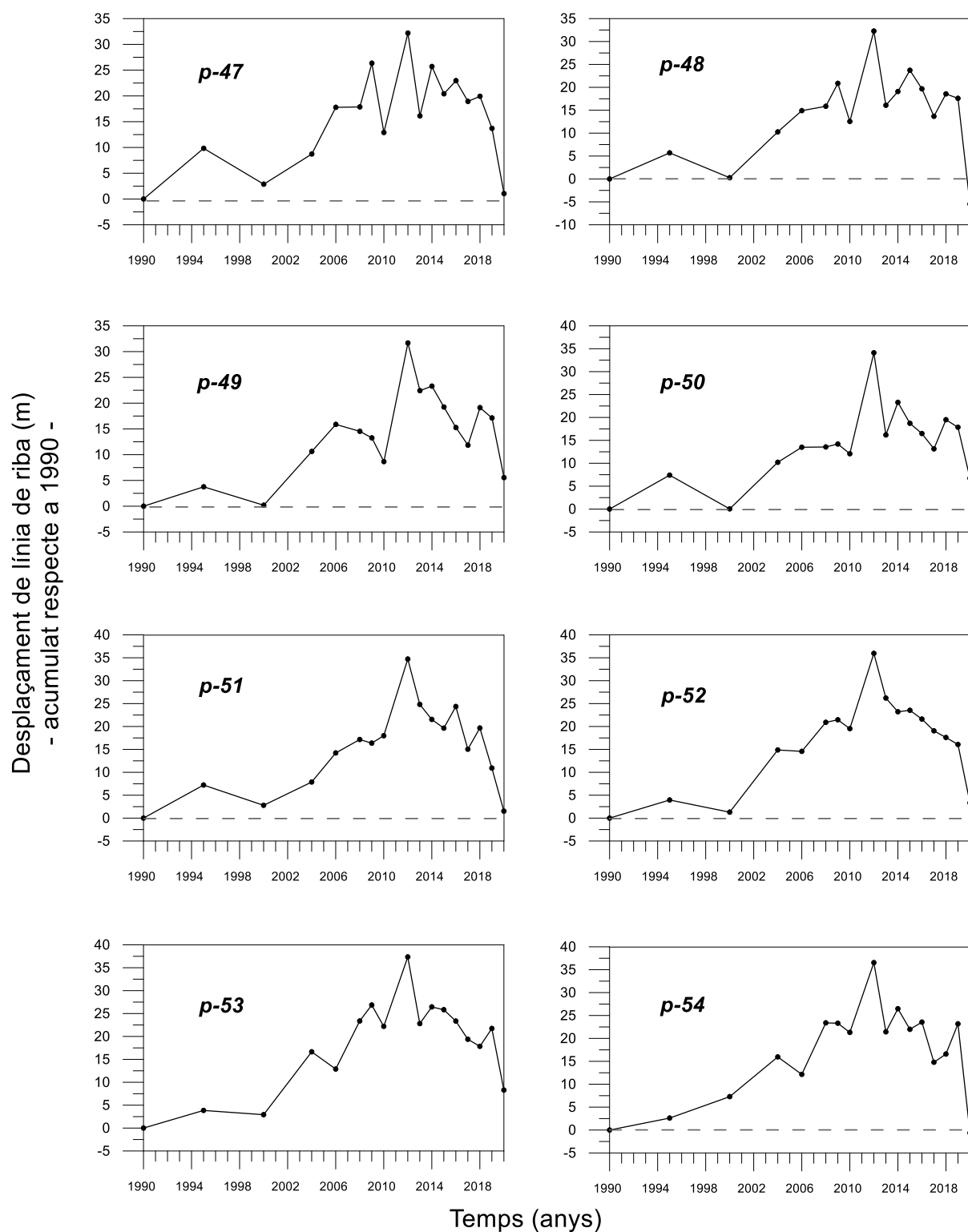


Figura A1.2 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Castelldefels (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

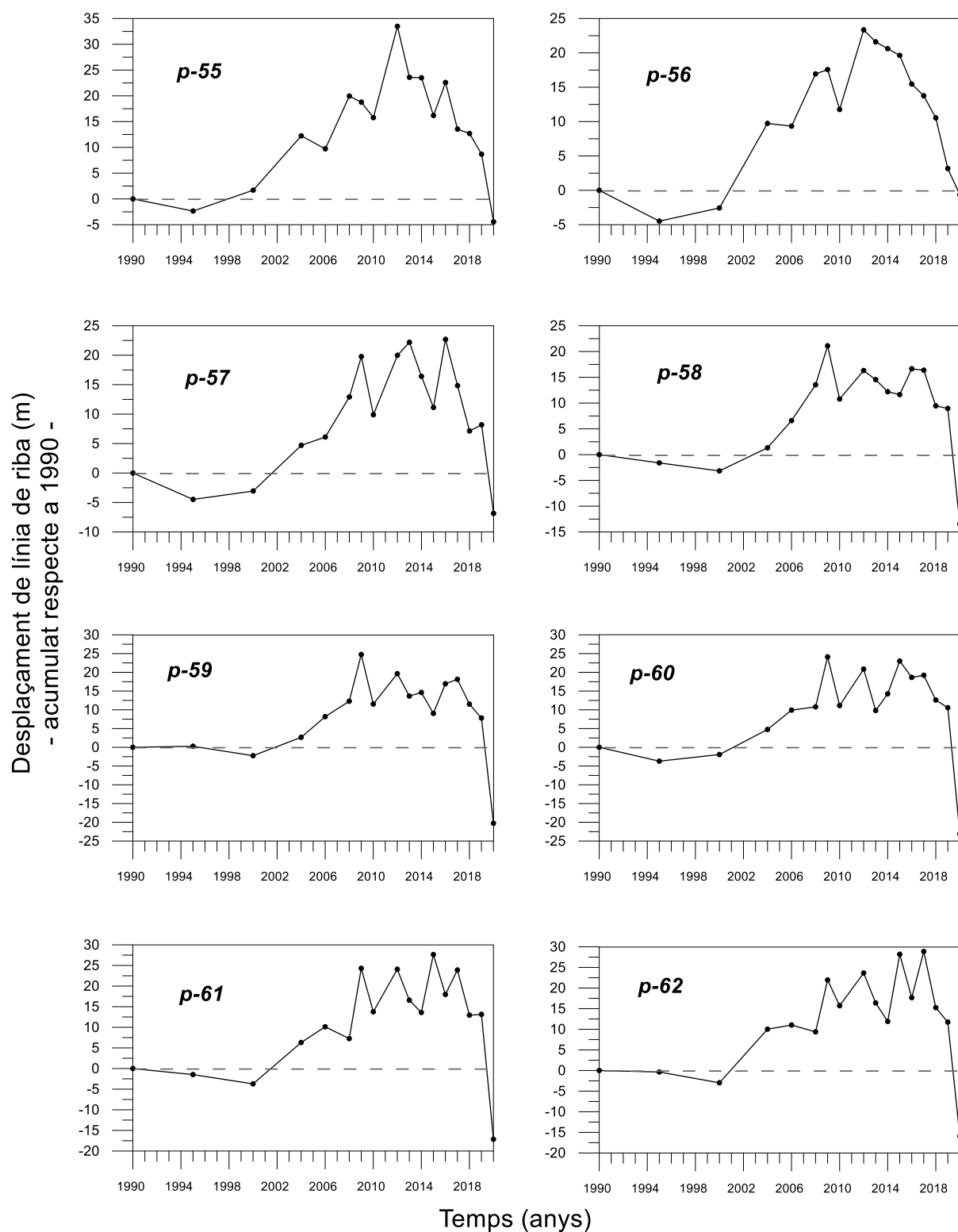


Figura A1.2 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Castelldefels (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

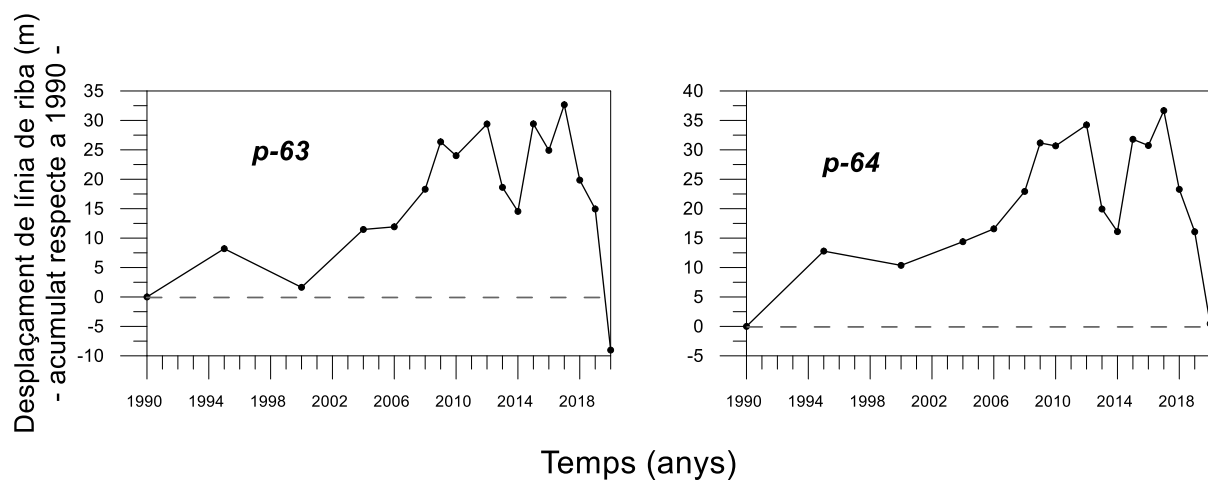


Figura A1.2 (continuació). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Castelldefels (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

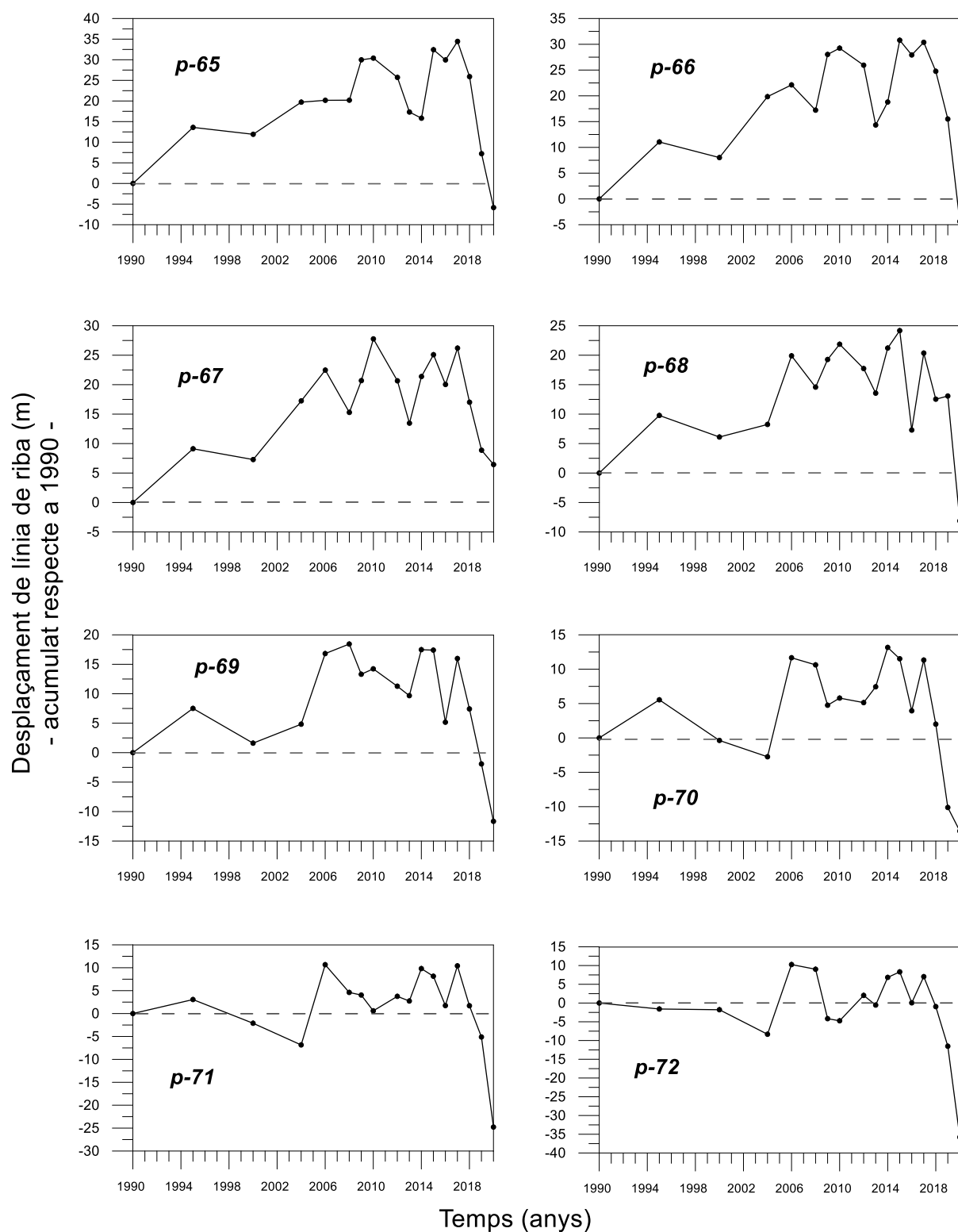


Figura A1.3. Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Gavà
(veure localització de punts de control a la figura 2.2).

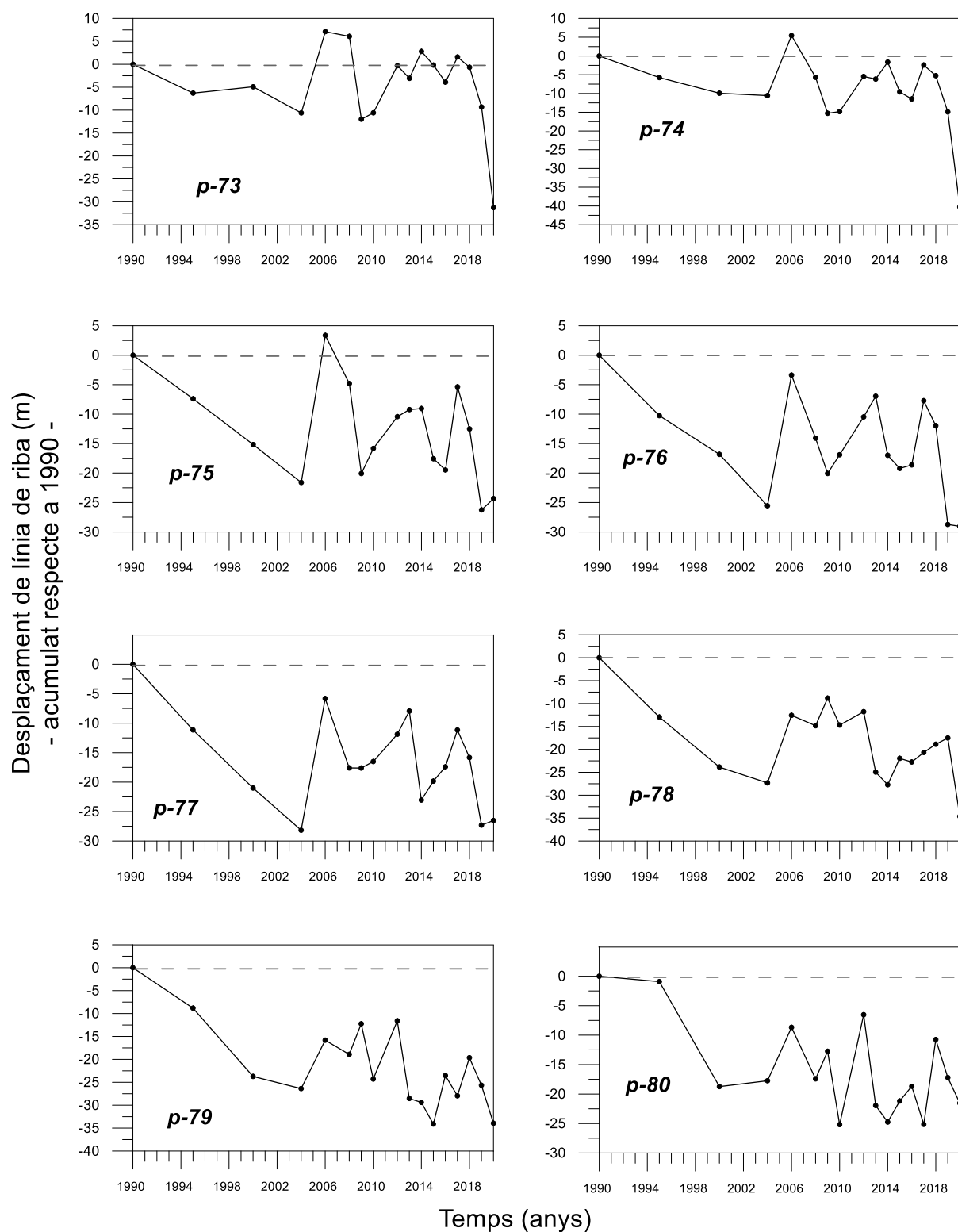


Figura A1.3 (continuació). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Gavà (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

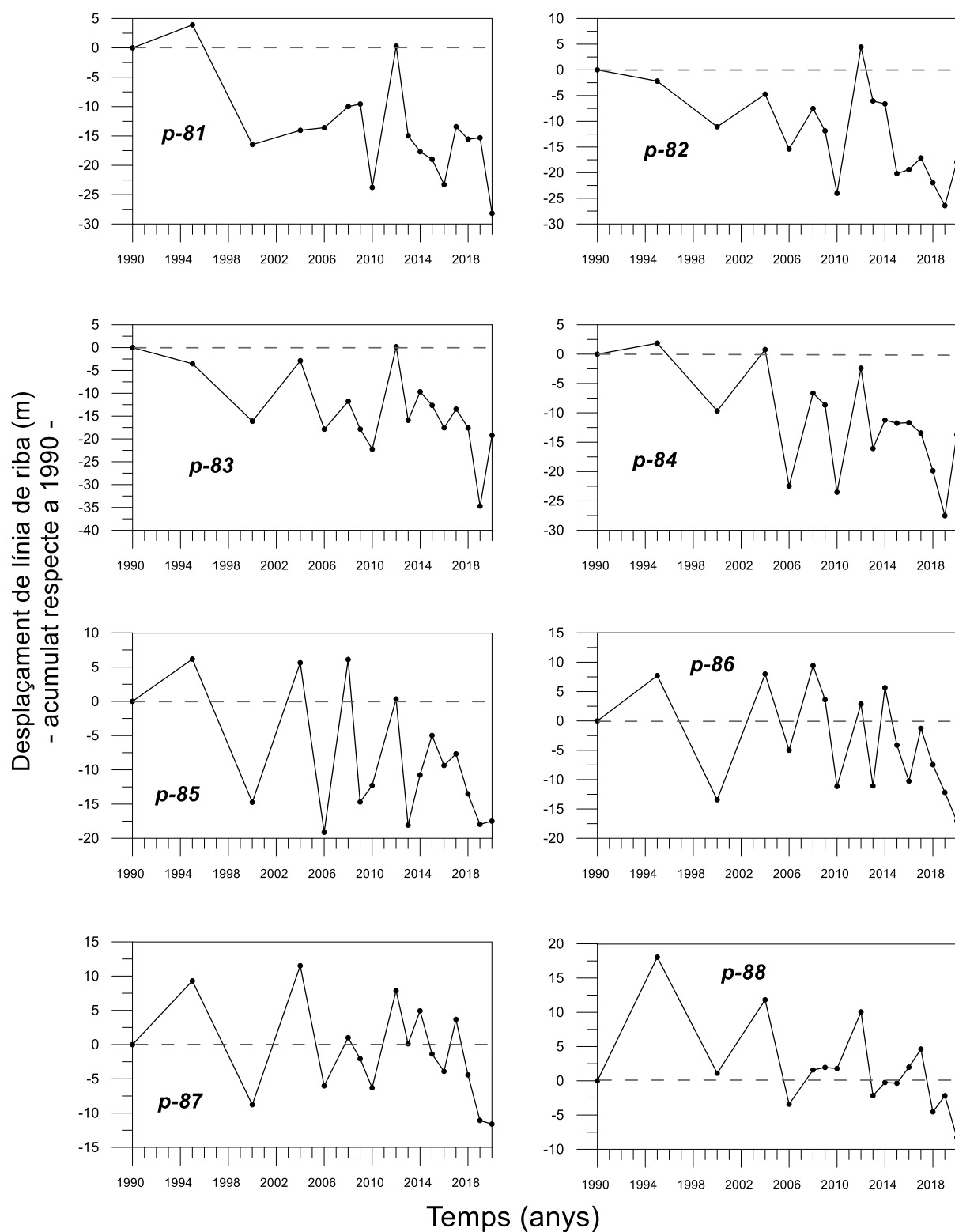


Figura A1.3 (continuació). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Gavà (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

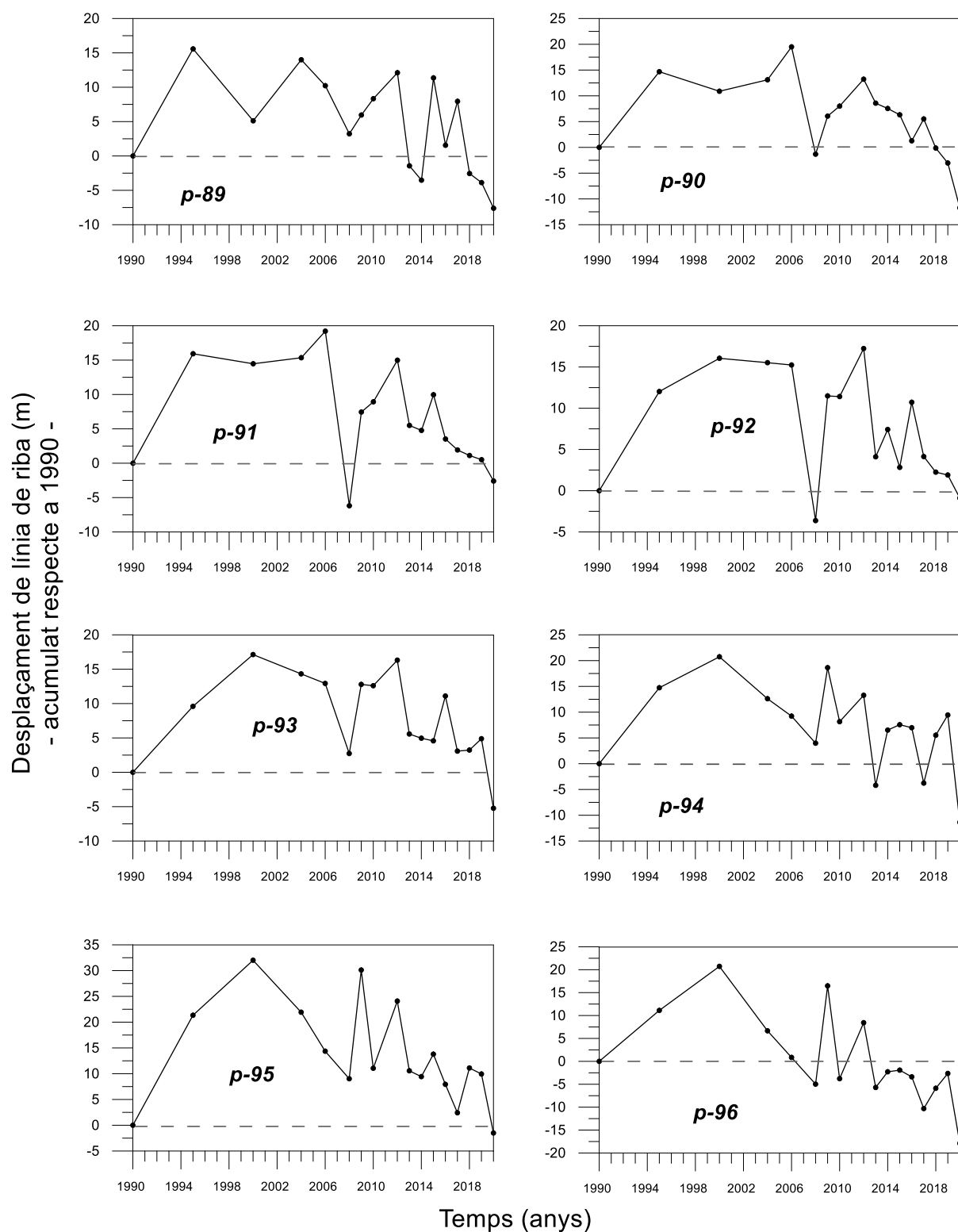


Figura A1.3 (continuació). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Gavà (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

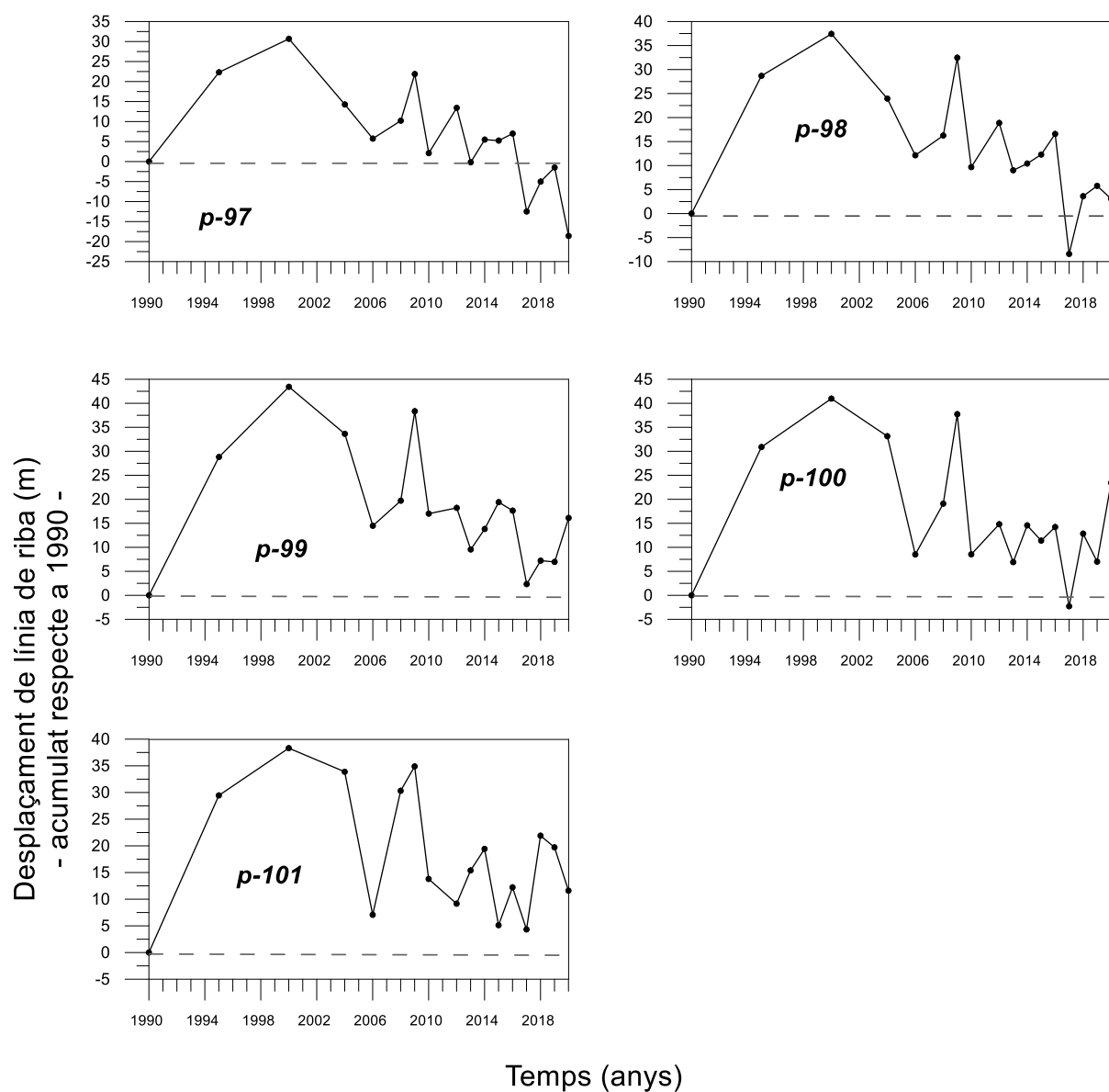


Figura A1.3 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Gavà (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

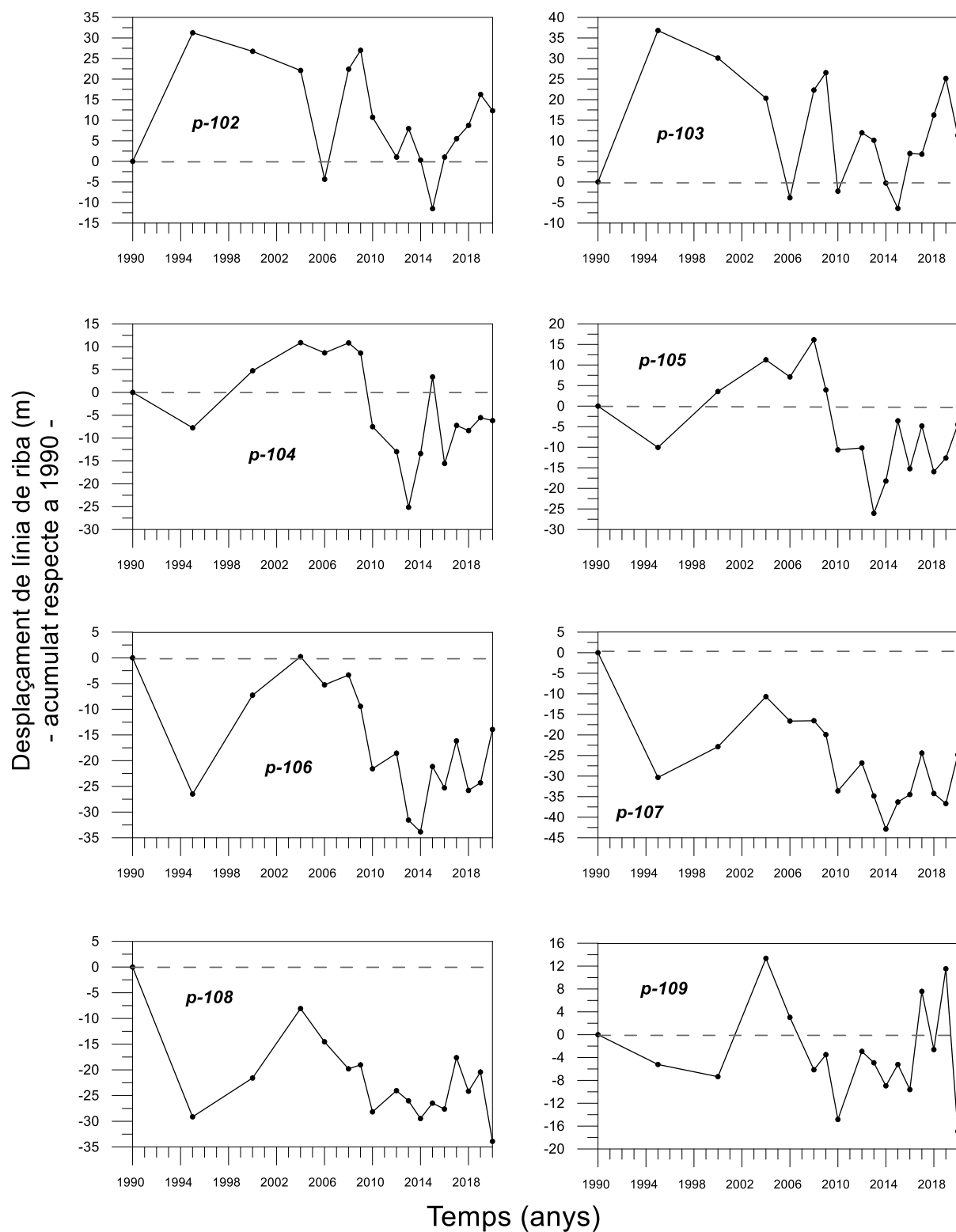


Figura A1.4. Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Viladecans (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

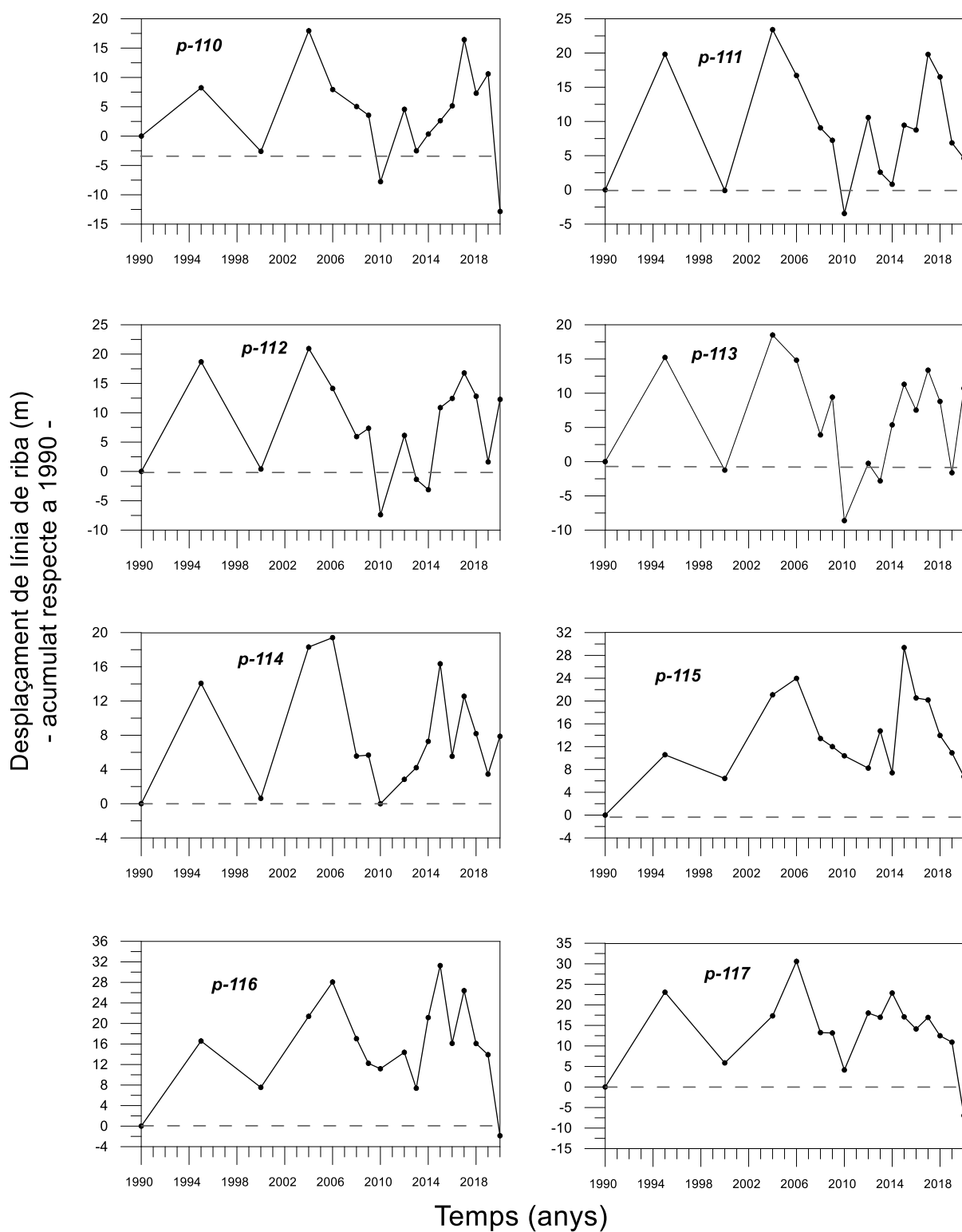


Figura A1.4 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Viladecans (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

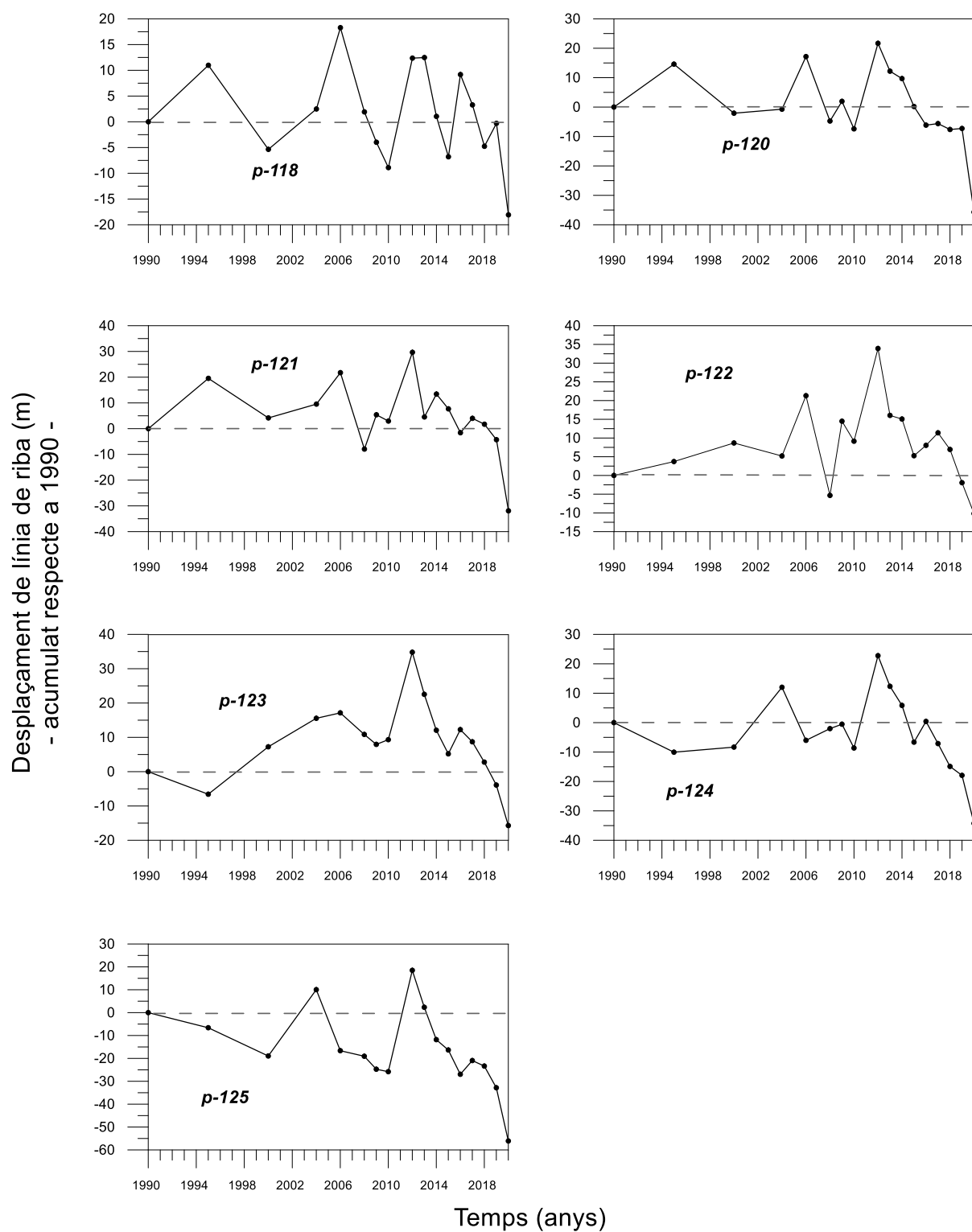


Figura A1.4 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de Viladecans (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

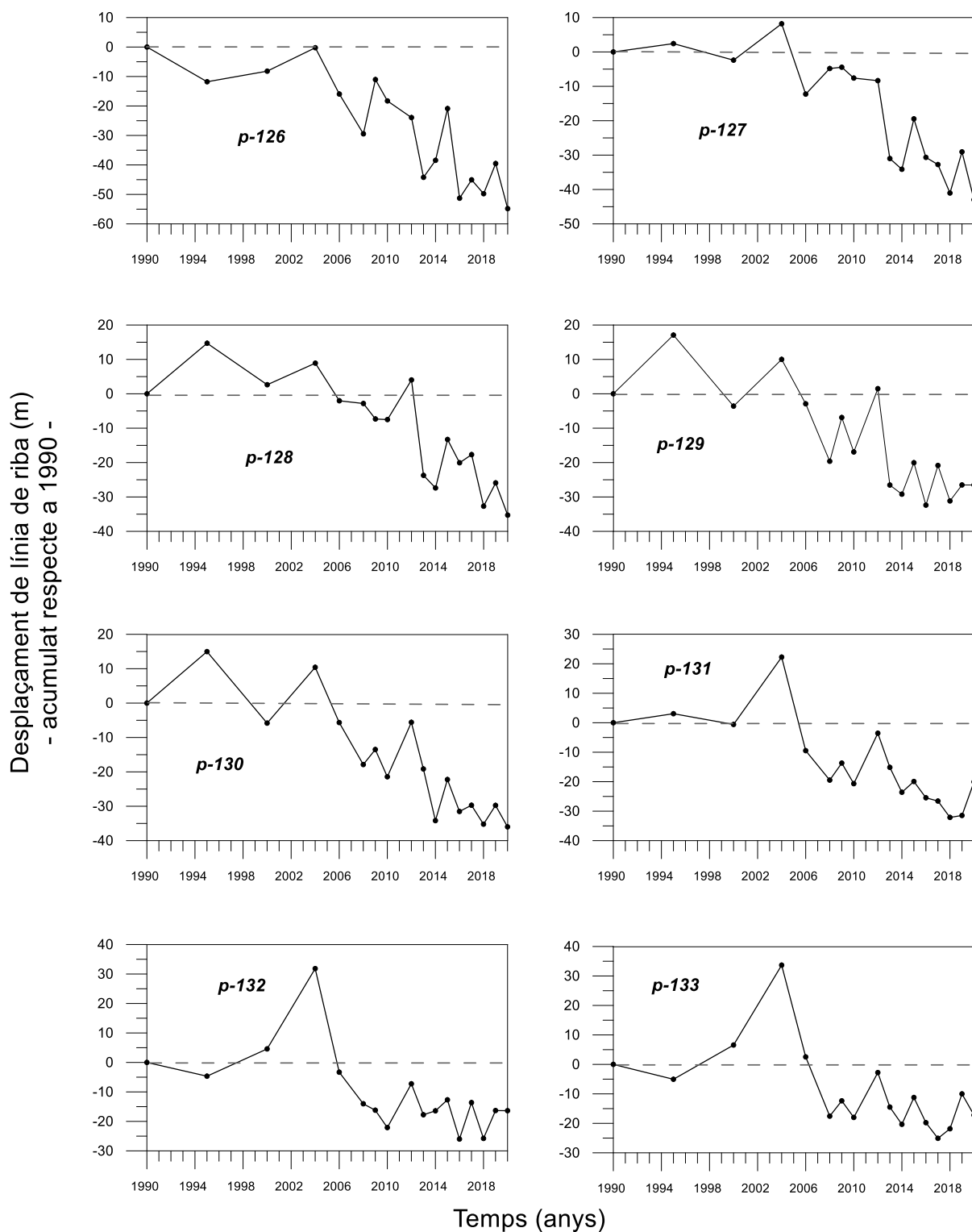


Figura A1.5. Evolució de línia de riba al llarg del municipi de El Prat de Llobregat (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

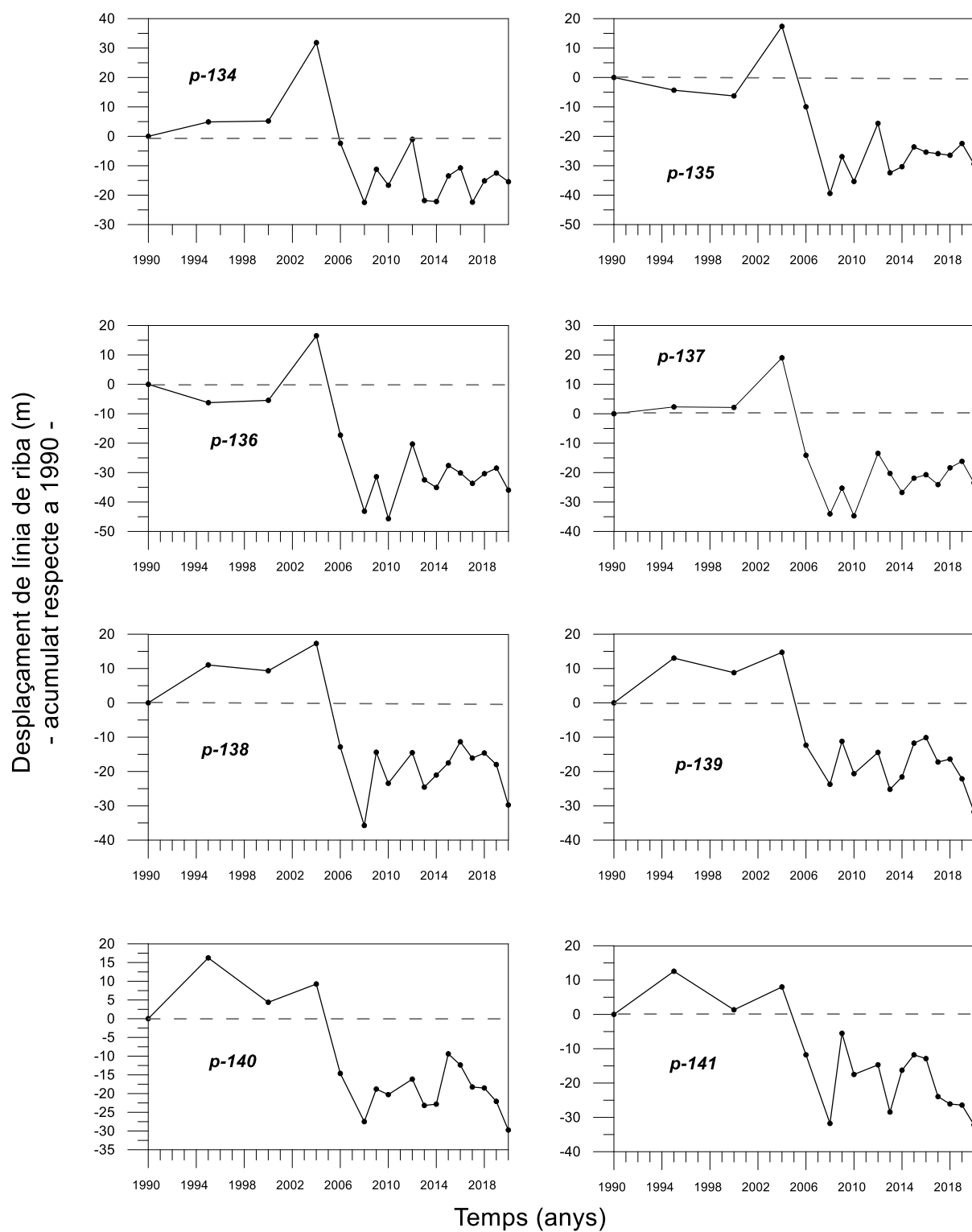


Figura A1.5 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de El Prat de Llobregat (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

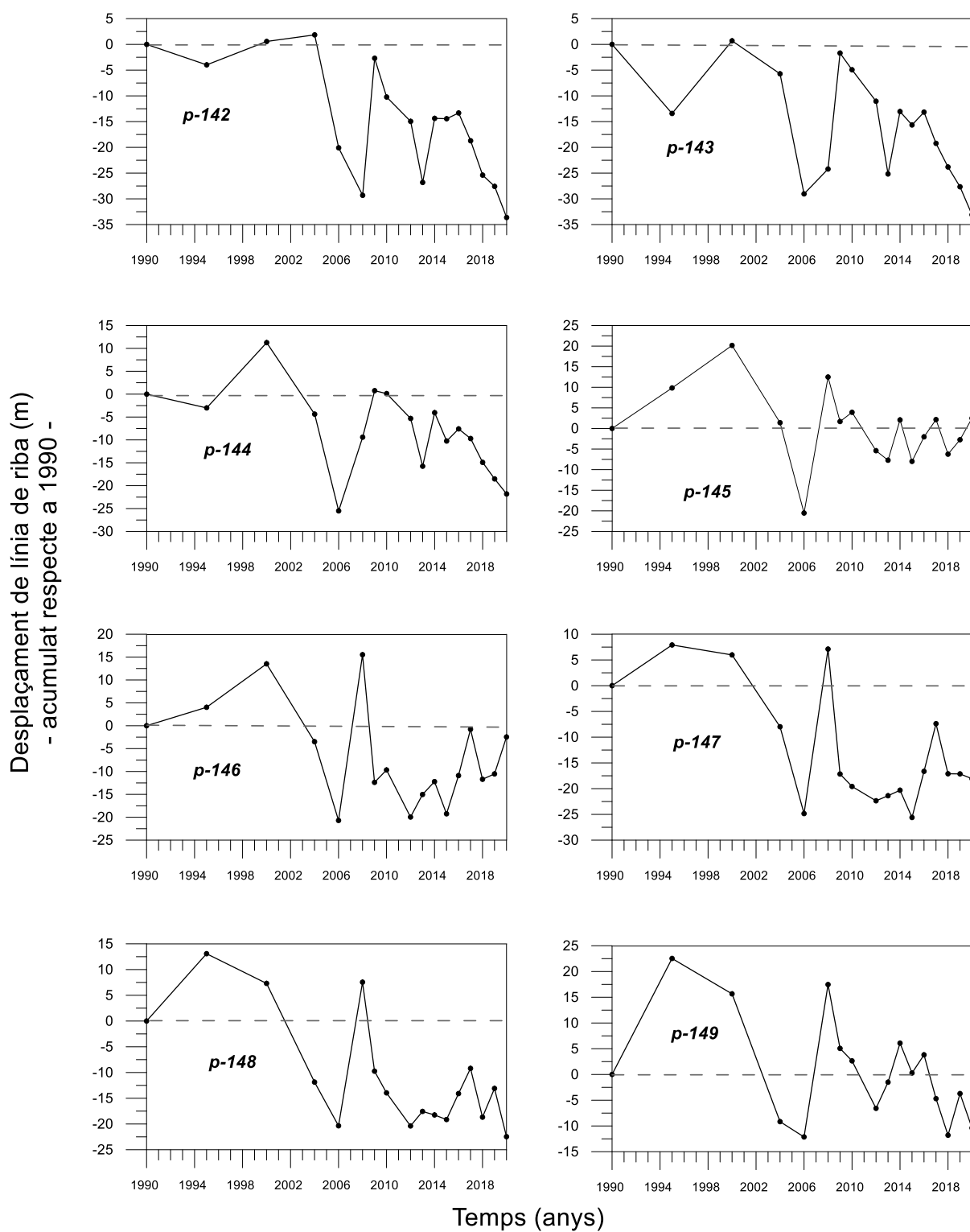


Figura A1.5 (continuació). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de El Prat de Llobregat (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

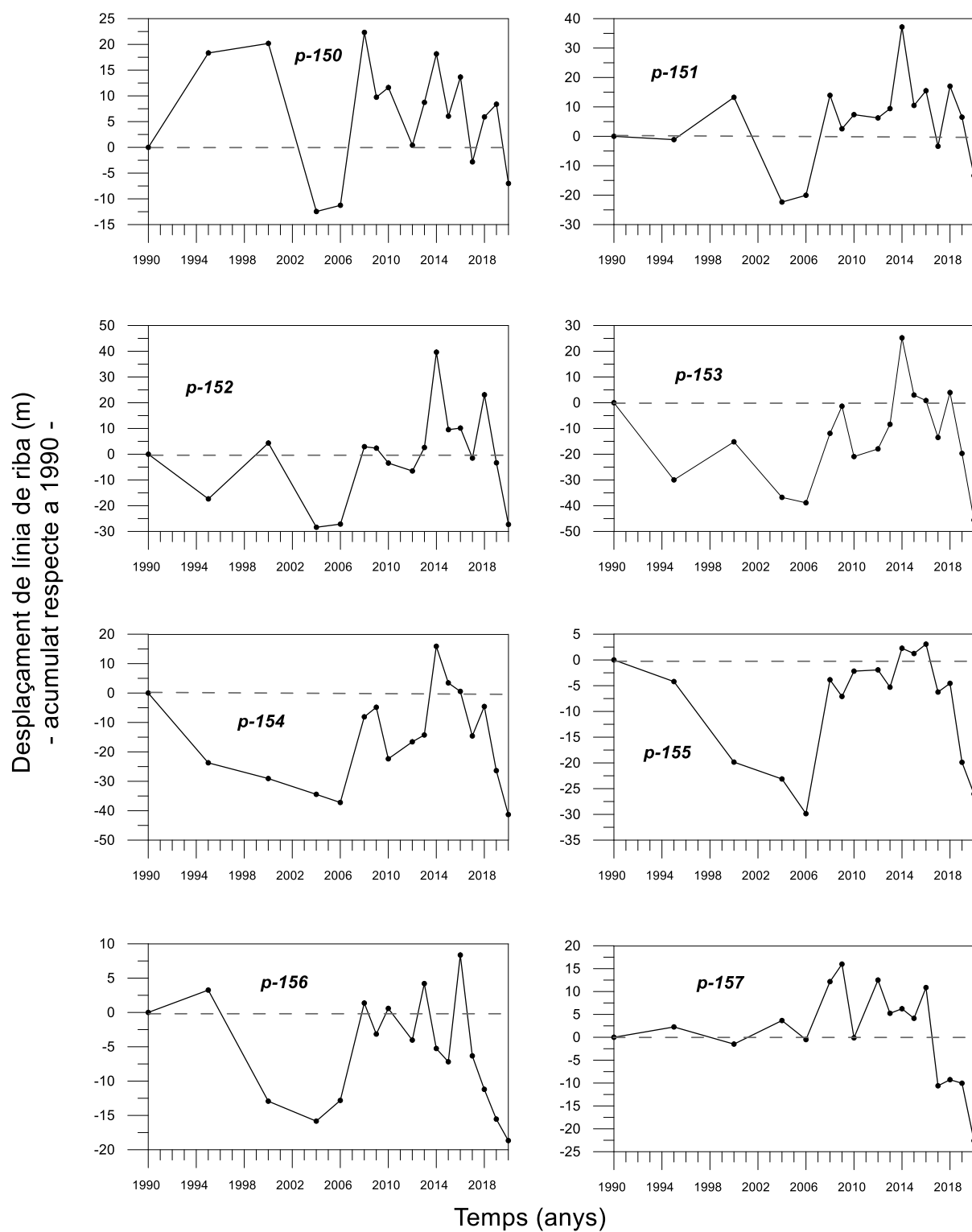


Figura A1.5 (continuació). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de El Prat de Llobregat (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

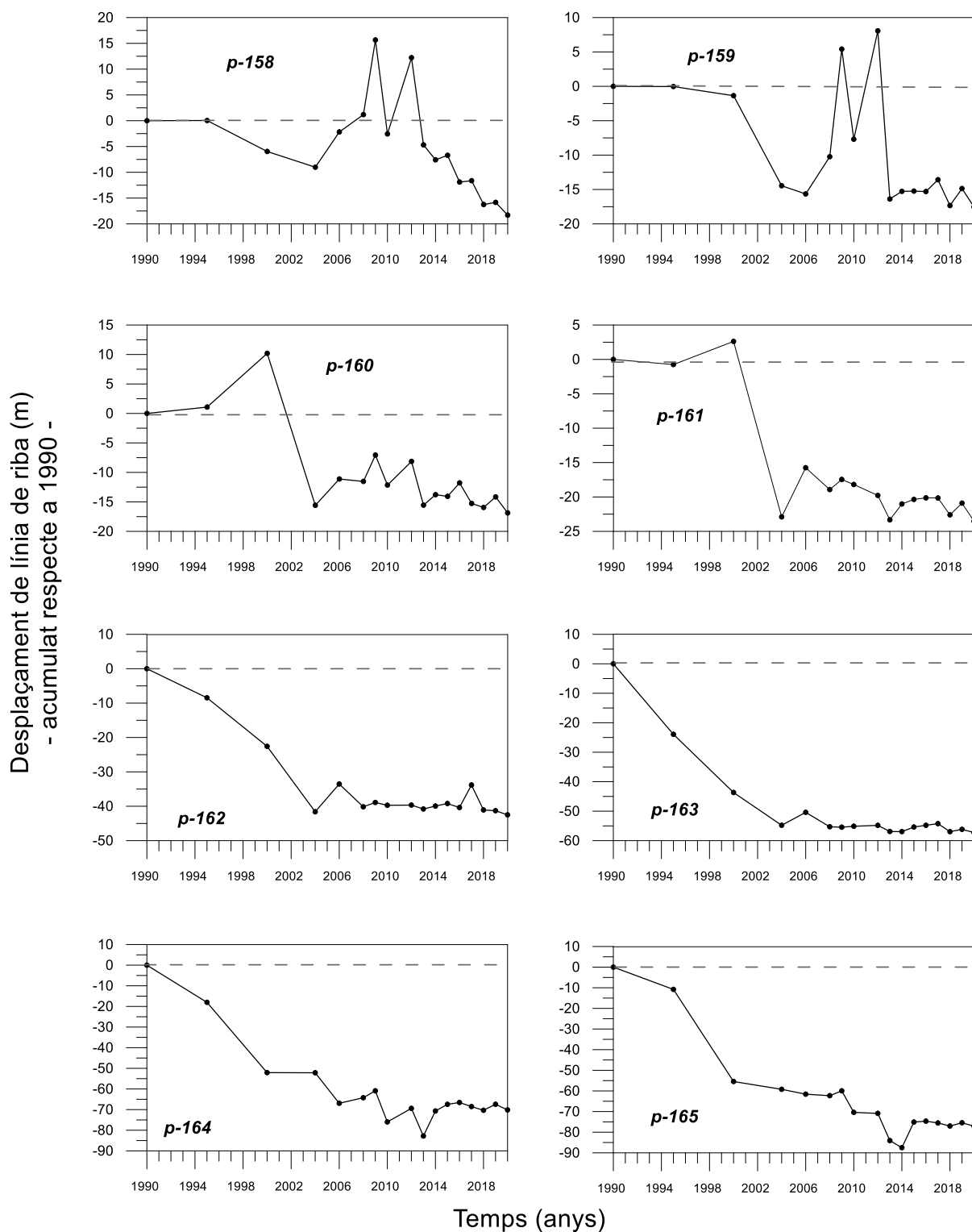


Figura A1.5 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de El Prat de Llobregat (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

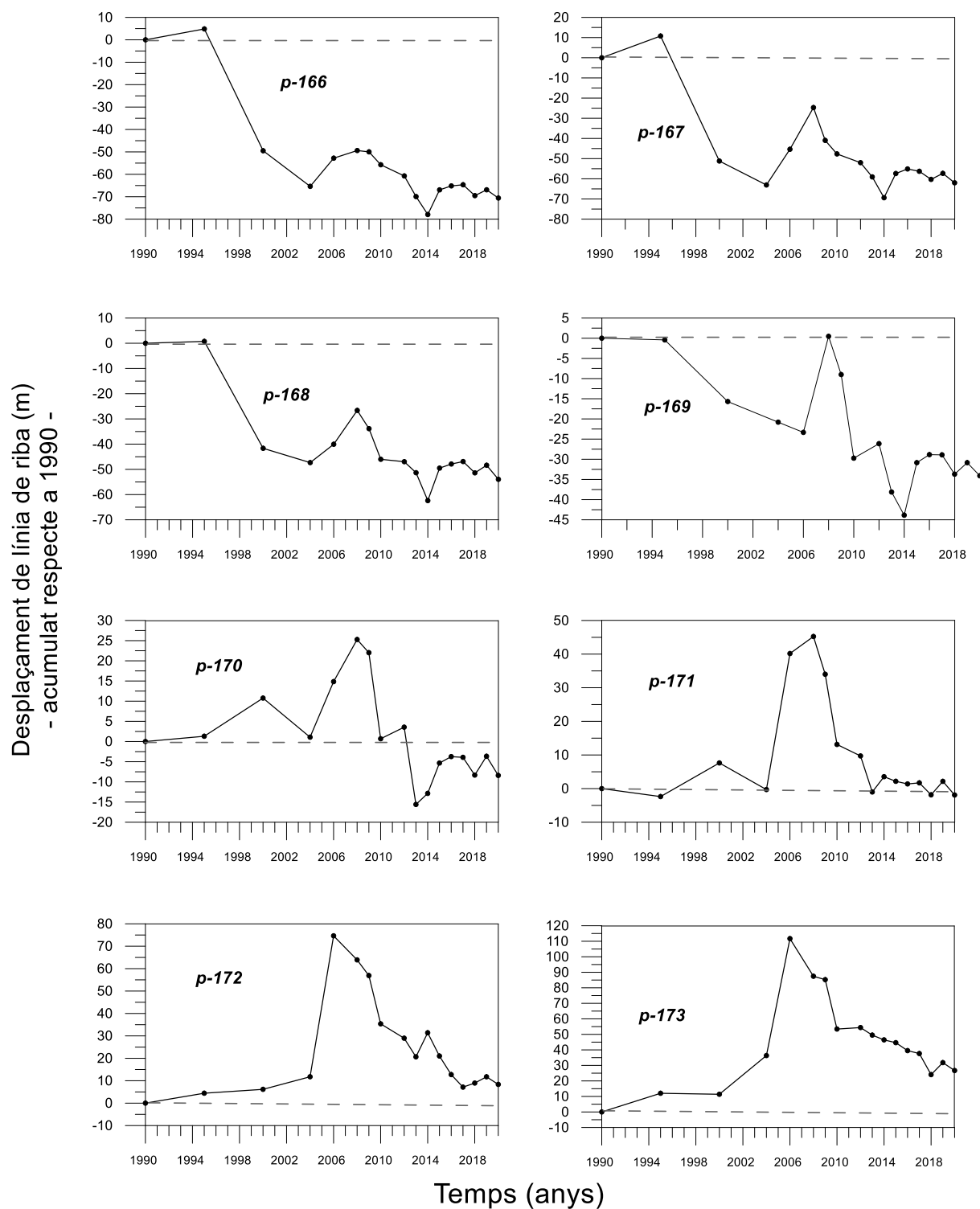


Figura A1.5 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de El Prat de Llobregat (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

Desplaçament de línia de riba (m)
- acumulat respecte a 1990 -

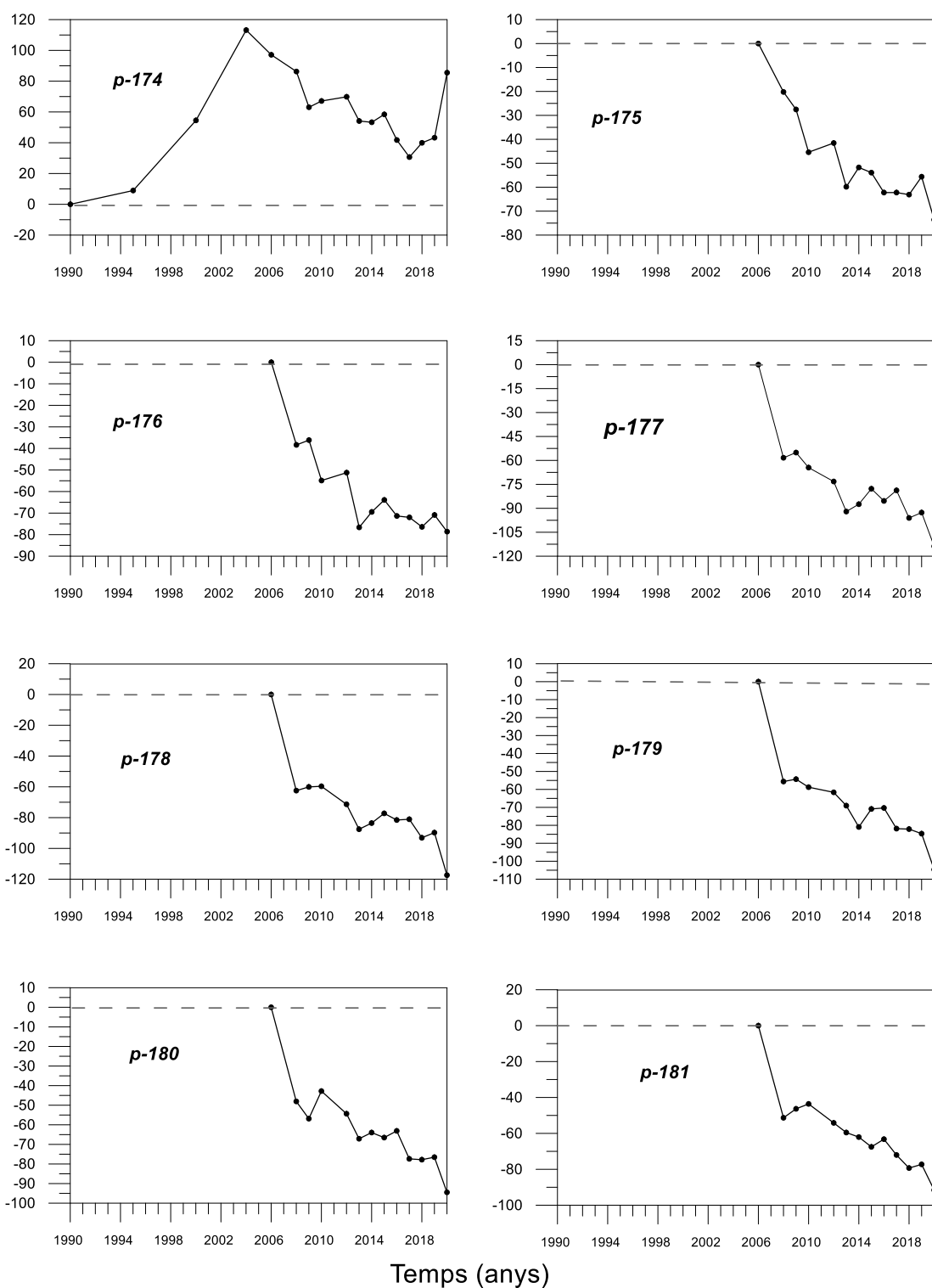


Figura A1.5 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de El Prat de Llobregat (veure localització de punts de control a la figura 2.2).

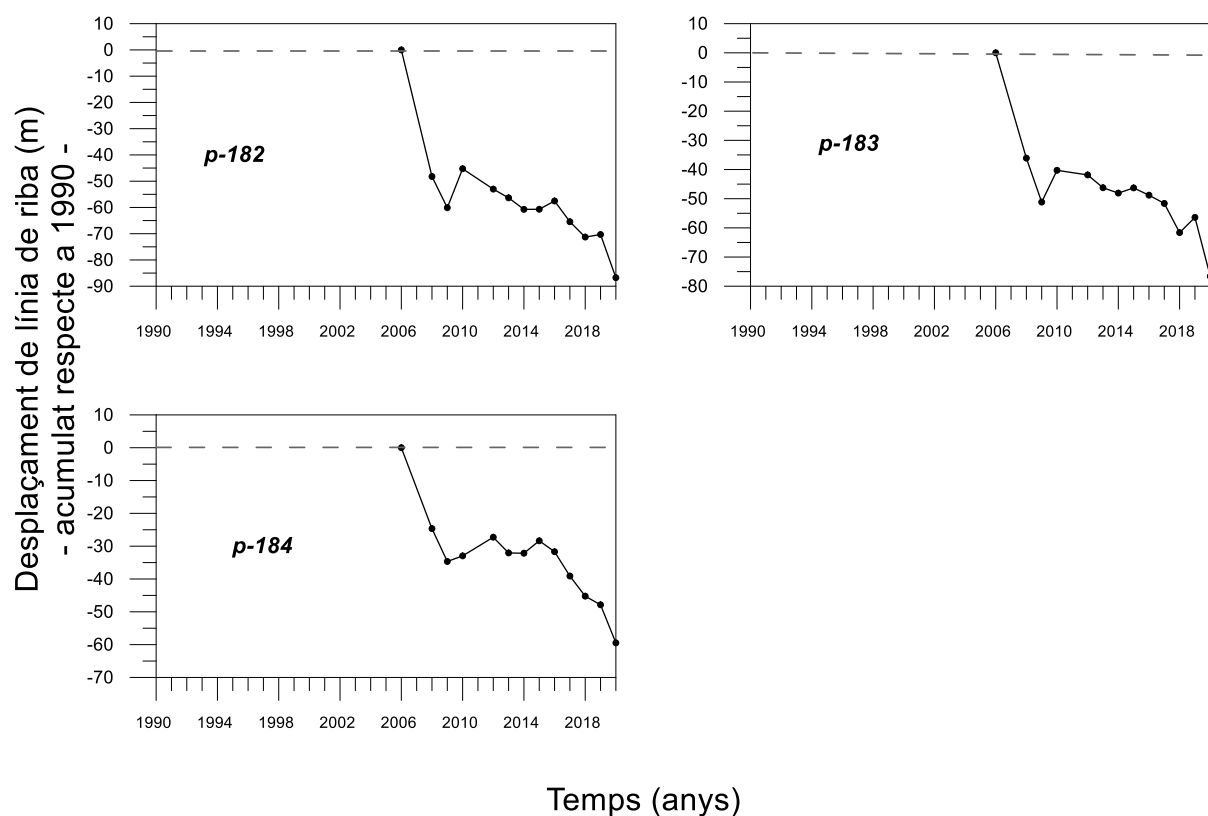


Figura A1.5 (continuación). Evolució de línia de riba al llarg del municipi de El Prat de Llobregat (veure localització de punts de control a la figura 2.2).