

DESEMBOCADURES FLUVIALS: ENTRE EL MAR I LA TERRA. EL CAS DEL RIU MILLARS

Francesca Segura-Beltran i Pablo Martínez Pardo

Departament de Geografia, Universitat de València, Avda. Blasco Ibáñez, 28, 46010 València

Resum:

La desembocadura del riu Millars-rambla de la Viuda, conformada per tres braços, forma part d'un gran ventall al·luvial progradant, creat conjuntament pels dos rius al llarg del quaternari. En el present treball s'estudia l'evolució del front del ventall, a partir de nombroses fotografies i ortofotografies aèries preses entre 1956 i 2021. Per aconseguir aquest objectiu s'analitzen les sèries temporals de cabals i d'onatge, amb la finalitat d'esbrinar el paper que hi tenen les revingudes i els temporals marítims. En les dècades de 1960 i 1970 s'observa un fort retrocés de la línia de costa respecte de la de 1956, que no se recuperà fins al 2020. L'escassa progradació del ventall en les dècades posteriors es deguda al dèficit hidrosedimentari provocat per l'extracció d'àrids i la retenció de sediments als embassaments de la conca. La lenta recuperació de la línia de costa es fa partir de nombrosos cordons que tanquen les tres goles del riu: durant les revingudes el riu els obri i, posteriorment, els temporals, apilen els materials fluvials i formen fletxes i restingues que tanquen microalbuferes. Els diversos cordons adopten la forma de *ridges de còdols* i *graves* que, en ser superats per l'onatge durant els temporals, creixen per la seua cara interna gràcies a la formació de *washover fans*, que acaben reblint les microalbuferes. La progradació de cordons successius fa que a poc a poc s'adossen al ventall deltaic. Tot i així, la presència de *washover fans* i l'escassa progradació de la línia de costa fan pensar que el ventall avui en dia està dominat pels processos marins.

Paraules clau: *desembocadures fluvials, ventalls deltaics, microalbuferes, restingues, Millars, València.*

Abstract:

The mouth of the River Millars-Rambla de la Viuda is part of a large prograding alluvial fan, formed throughout the Quaternary period. Currently, the mouth is formed by three channels separated by two fluvial bars. The main objective of this paper is to analyze the evolution of the mouth between 1956 and 2021 by means of photographs and orthoimages. To achieve this objective, we analyze river flow and wave series, in order to reckon the influence of river floods and marine storms on their evolution. In the 1960 and 1970 decades, the 1956 coastline retreated, and it was not recovered until 2020. The scarce progradation along the study period is due to the fluvial hydro-sedimentary deficit caused by gravel extraction and sediment retention in river reservoirs. The little shoreline advance is made of numerous bars that close the river channels. River floods open the bars and later, during the storms, the waves form spits and beach barriers closing micro-lagoons. The bars are pebble ridge-shaped, 2-3 meters high. During major storms, these ridges are likely to be overtopped by the waves. They form washover fans which end up filling the micro-lagoons. The washover processes are the primary mechanism by which ridges increase in width and migrate landward, expanding the deltaic fan. The existence of washover fans and the low fan delta progradation suggests that nowadays this is a fan delta dominated by marine processes.

Keywords: *river mouths, fan delta, micro-lagoons ridges, Millars, València.*

Introducció

Les desembocadures fluvials són espais amfibis creats per la interacció dels processos fluvials i marins. En els rius efímers de les planes costaneres valencianes, solen formar part de ventalls al·luvials progradants o solapats, que en desembocar en el mar, també s'anomenen ventalls deltaics (*fan deltes*) (SEGURA-BELTRAN i PARDO-PASCUAL, 2019). A llarg termini, l'evolució d'aquestes formes és resultat de l'equilibri de forces establert entre els processos marins i fluvials: depenent del predomini d'uns o altres el front del ventall prograda (predomini fluvial) o retrocedeix (predomini marí). A curt termini, els equilibris són els mateixos, però fins arribar a la consolidació de les formes existeixen molts d'estadis intermedis efímers que convé analitzar. Als processos naturals, cal sumar també l'acció antròpica exercida de forma directa o indirecta sobre els rius i sobre les costes. Aquestes intervencions antròpiques generen alteracions sedimentàries que, sumades als canvis ambientals recents, produeixen una evolució complexa de les desembocadures fluvials (MORALES *et al.*, 2004).

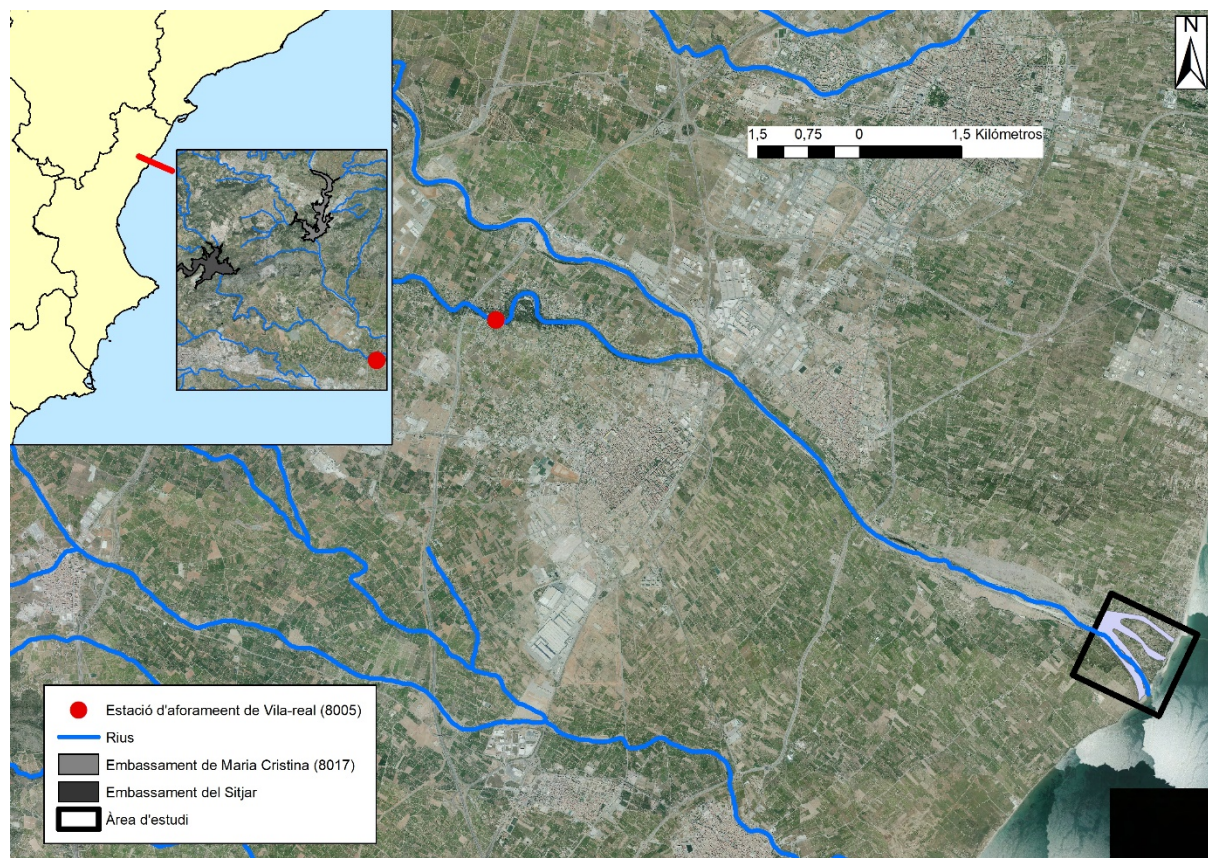


Fig. 1. Localització de l'àrea d'estudi, amb els embassaments de Sitjar i Maria Cristina (aforament 8017), així com l'estació d'aforament de Vila-real (8005). Font ortofotografia: Institut Cartogràfic Valencià (ICV).

L'objectiu del present treball és analitzar l'evolució des de 1956 a 2021 de la desembocadura del Millars, tot considerant els factors naturals i antròpics que han influït en la seua evolució. Els objectius d'aquesta investigació es concreten en: *a)* anàlisi dels factors naturals i antròpics que influeixen sobre la zona, *b)* canvis en la línia de costa, *c)* evolució geomorfològica de les formes, *d)* model d'evolució dels diferents braços del riu i, *e)* relació entre les formes i els processos que intervenen.

Àrea d'estudi

El riu Millars, amb una conca de 4.028 km² i 156 km de recorregut, naix a la Serra de Gúdar i desguassa a la Mediterrània, després de confluir amb la rambla de la Viuda a uns 8 km de la desembocadura. La conca gaudeix d'un clima mediterrani, amb una precipitació mitjana que oscil·la entre els 500 i 600 mm, concentrada sobretot a la tardor pel pas de depressions aïllades en nivells alts de l'atmosfera (DANES), encara que en capçalera també són importants les pluges de primavera, produïdes pel pas de sistemes frontals (PÉREZ CUEVA, 1994). Les revingudes més importants són de tipus mediterrani, provocades per les pluges intenses i voluminoses característiques de la tardor, però també es produeixen aigües altes provocades per les pluges i/o la fusió nival de la primavera. Els cabals estan controlades pels embassaments (Arenós, 137 hm³, 1980; Sitjar, 52 hm³, 1960), i són utilitzats per abastament agrícola i urbà, deixant el riu pràcticament sec en el seu recorregut final. Per la seua banda, la rambla de la Viuda, té una conca de 1.510 km² i un recorregut d'uns 80 km. En el seu tram final es troba l'embassament de Maria Cristina (27 hm³, 1920). Les revingudes són de tipus *flash flood* –en la major part del seu recorregut és un riu efímer– i poden assolir cabals molt importants. A la desembocadura, les revingudes depenen dels cabals abocats pels embassaments de Sitjar i de Maria Cristina i les dues puntes poden coincidir o no segons la gestió que se'n faça. Els sediments que

arrossegueu els dos rius, sobretot la rambla de la Viuda, són de tipus gruixut, fonamentalment, còdols, graves i arenes.

Des del punt de vista geomorfològic, a la plana costanera, el Millars-rambla de la Viuda construeixen conjuntament un gran ventall al·luvial progradant, format per diferents nivells quaternaris (SEGURA, 1990; SEGURA-BELTRAN i PARDO-PASCUAL, 2019). L'àrea d'estudi compren una superfície quadrada de 186,5 ha, que abasta la part final del ventall del riu Millars, entre Almassora i la costa (Fig. 1).

Materials i mètodes

Per a la realització del treball s'han utilitzat una sèrie de fotografies aèries i ortofotografies preses entre 1956 i 2020. La majoria procedeixen de l'Institut Cartogràfic Valencià (ICV), i han servit per a mesurar l'evolució de la superfície estudiada (taula 1). Les fotografies de 1976 i 1990 han estat georeferenciades amb 9-12 punts de control, i un RMS <2 m i la resolució de les ortofotografies oscil·la entre 0,25 i 0,5 m. Les imatges s'han introduït en Arcgis 10.8 (ESRI, Redlands, CA, 2013) per processar-les. A banda d'aquestes imatges, s'han utilitzat imatges històriques del Google Earth que han servit per a fer un seguiment visual i observar els canvis de forma qualitativa (Taula 1).

A partir de les imatges esmentades s'ha fet una cartografia geomorfològica de la desembocadura i s'ha comptabilitzat la superfície ocupada per cadascuna de les formes. Atès que es tracta d'un espai petit amb formes d'origen mixt creades per processos fluvials i marins i que, a més, evolucionen entre

Taula 1. Fotografies aèries i ortofotografies utilitzades. Fonts: Institut Cartogràfic Valencià (ICV) i Google Earth (GE). Les primeres, en ser ortofotografies –excepte les de 1967, 1976 i 1990–, s'han utilitzat per a fer mesures; les del Google Earth històric, per a veure l'evolució de les formes.

DATA	ORGANISME	RESOLUCIÓ	DATA	ORGANISME
04/07/1956	ICV	0,5 m	13/08/2002	GE
18/07/1967	ICV	0,5 m	08/07/2007	GE
01/03/1976	ICV	0,10 m	12/05/2009	GE
01/01/1990	ICV	0,11 m	11/07/2011	GE
Agost, any 2000	ICV	0,5 m	29/08/2011	GE
25/4/2003 – 13/6/2003	ICV	0,5 m	23/06/2012	GE
21/08/2005 – 7/11/2005	ICV	0,5 m	17/07/2014	GE
14/8/2007 – 2/9/2007	ICV	0,5 m	22/10/2015	GE
5/8/2009 – 25/9/2009	ICV	0,25 m	16/11/2016	GE
16/6/2012 – 28/7/2012	ICV	0,5 m	02/09/2017	GE
6/5/2015 – 3/8/2015	ICV	0,25	02/08/2018	GE
08/06/2017 – 23/08/2017	ICV	0,25	10/02/2020	GE
13/6/2018 – 24/8/2018	ICV	0,25 m	22/05/2020	GE
14/05/2019 – 30/06/2019	ICV	0,25 m	–	–
02/05/2020 – 31/05/2020	ICV	0,25 m	–	–

elles, és difícil establir una classificació unívoca. Malgrat les dificultats per fer categories, s'han distingit les següents unitats: *a)* canal fluvial, que es refereix a la secció del caixer per on circula l'aigua, *b)* barres fluvials, formades entre els canals fluvials, *c)* platja, acumulació d'arenes adossada a les barres fluvials o al ventall al·luvial, *d)* aigua, d'origen fluvial, *e)* albufera i, *f)* cordó litoral, nom genèric que identifica acumulacions sedimentàries de diferents orígens i que hem dividit en tres subtipus: cordó litoral-barra, quan tanca una desembocadura fluvial; cordó litoral-fletxa, acumulació de sediments que s'adossa al continent per un dels extrems, i que a la part distal que pot acabar en un ganxo i cordó-restinga, quan tanca una albufera.

Pel que fa a la hidrologia, s'han analitzat les sèries temporals de cabals diaris del riu Millars, a la presa de Vila-real (8005, 1911-2020) i les sortides diàries de l'embassament de Maria Cristina, a la rambla de la Viuda (8017, 1956-2017), extretes del *Centro de Estudios Hidrográficos* (CEDEX) (<https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>) i del *Sistema de Información del Agua* de la Confederació Hidrogràfica del Xúquer (SIA CHJ), per a les dades més recents (<https://aps.chj.es/siajucar/>). Les sèries temporals s'han utilitzat per identificar els episodis de revingudes; en particular, s'han seleccionat les que tenien algun dia de cabal superior a 50 m³/s, per entendre que aquestes són capaces de mobilitzar el sediment.

També s'han analitzat les dades d'onatge i de vent, descarregades de *Puertos del Estado* (<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>), corresponents al punt SIMAR 2085119 localitzat mar endins, enfront de la gola septentrional (Fig. 6), entre 1958 i 2019. De les dades subministrades, s'ha analitzat l'altura significant (H_s) i la direcció de l'onatge, així com la velocitat i direcció del vent, del període 1958-2021. A més a més, s'han revisat tots els temporals, tot seguint el criteri de considerar únicament les situacions amb una H_s superior a 2 m i que perdura almenys 12 hores (MENDOZA i JIMÉNEZ, 2008; PARDO PASCUAL *et al.*, 2014 i PARDO-PASCUAL *et al.*, 2019). A efectes de la representació dels temporals s'ha seleccionat únicament el valor anual màxim d' H_s .

A més a més, s'han descarregat les isòbates del *Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico* (MITECO) realitzades entre 2009-2010, per analitzar els fons antelitorals i entendre l'evolució de les formes litorals (<https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/default.aspx>).

Resultats

L'evolució de la desembocadura del Millars és complexa per la gran quantitat de factors que interactuen a l'hora de crear les formes que s'observen a la fotografia aèria. Per tal d'esbrinar el paper que hi juguen cadascun, s'analitzaran els resultats per separat, tot intentant fer una síntesi final i discutir-los posteriorment.

Els cabals fluvials

Com s'ha senyalat abans, l'aigua que arriba a la desembocadura és la suma de les eixides de dos embassaments, el del Sitjar i el de Maria Cristina, situats respectivament al Millars i a la Rambla de la Viuda (Fig. 1). Malgrat que el primer és un riu perenne, a l'aforament 8005 té un cabal mitjà de 4'5 m³/s, però a la desembocadura només arriba aigua després de fortes revingudes, la qual cosa també esdevé en el cas de les eixides de Maria Cristina. Fet i fet, es tracta d'un caixer efímer que només s'activa durant els episodis de revinguda.

L'anàlisi de les aportacions del Millars-rambla de la Viuda suggereix que s'ha produït una davallada de les aportacions des de 1911 fins a l'actualitat. La reducció de cabals s'atribueix al canvi ambiental, produït per les modificacions d'usos del sol de la conca i la construcció d'embassaments (GARÓFANO-GÓMEZ *et al.*, 2012; SEPÚLVEDA *et al.*, 2018). Tal com s'observa a la Fig. 2a i b, hi ha pocs episodis amb potencial geomòrfic. Per la seua magnitud, destaquen: octubre de 1962 a la rambla de la Viuda; desembre 1989/gener 1990, en els dos rius; octubre de 2000 a la rambla de la Viuda; març de 2015 a la

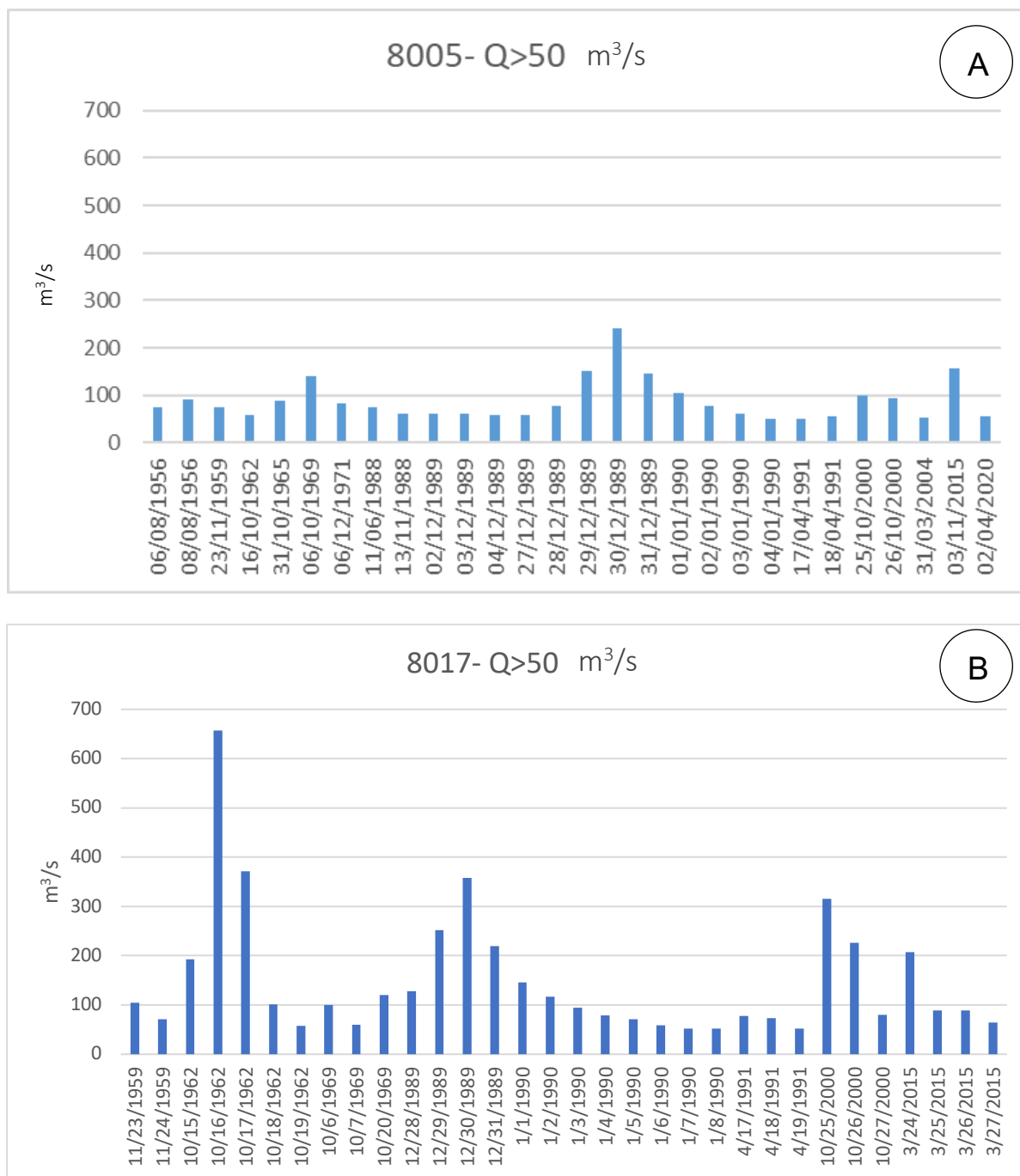


Fig. 2. Cabals diaris superiors a 50 m³/s. a) aforament del Millars a Vila-real (8005); b) Eixides embassament de Maria Cristina a la rambla de la Viuda (8017). Font: CEDEX i SIA-CHJ. Elaboració pròpia.

rambla de la Viuda i novembre de 2015 al Millars. Alguns d'aquests episodis coincideixen amb les fotos aèries analitzades, però d'altres no es poden apreciar o no han deixat rastre.

El cas més clar de tots és l'episodi de desembre de 1989 –gener de 1990, quan els dos rius van estar abocant aigua durant dos mesos i, per tant, les aportacions fluviosedimentàries van ser extraordinàries. El dia 30 d'octubre, van sumar-se els 240,8 m³/s del Millars amb els 358,05 de la rambla de la Viuda; per contra, la riuada d'octubre de 1962, tot i assolir vora 700 m³/s de pic a la rambla de la Viuda, no va deixar rastre a la fotografia de 1967 i no va tenir correspondència equiparable al Millars; el mateix va ocórrer a l'octubre de 2000, quan la rambla de la Viuda va aportar a la desembocadura 315 m³/s. El

2015 va enregistrar diverses revingudes que no van coincidir en els dos rius: al març, el Millars va aportar un pic de 156,06 m³/s, mentre que al novembre va ser la rambla de la Viuda que va portar-ne 206,8.

El clima marítim i els temporals

Al punt SIMAR 208519 (Fig. 3), els vents procedents del NNE (12%), ENE (8%) i N (7%) són dominats al llarg de l'any i amb una velocitat mitjana major de 8 m/s als temporals (Fig. 3). En segon lloc, el gràfic revela que més del 8% dels vents procedeixen del SSE i S amb una velocitat mitjana aproximada de 6-7 m/s. En menor mesura, observem també vents de l'E, i ESE (7%).

D'altra banda, d'acord amb la Fig. 4, al punt SIMAR 2085119, la direcció predominant de l'onatge és de l'E (25%), seguit del ENE (18%), ESE (16%) i SSE (17%), mentre que ha desaparegut la direcció N i gairebé les del S i del NNE, presents a la rosa dels vents, mentre que els onatges de l'ESE i SSE es reforcen (16%). Aquest fet poden ser conseqüència de l'efecte d'abric del port de Castelló. Degut a les seues dimensions, deu frenar els onatges del primer quadrant, però en canvi no deu afectar els del segon quadrant i la direcció E. D'altra banda, atès que l'orientació de la costa és NE-SW, els onatges efectius procediran de l'E, ESE i del SE. Els primers produiran un corrent longitudinal N-S que serà dominant, a l'igual a la resta del golf de València (SANJAUME, 1985), ja que els vents procedents d'aquesta direcció ho són. No obstant això, els vents del SE poden produir també un corrent S-N en determinats moments.

Tanmateix, a efectes del modelatge de la desembocadura fluvial, són els temporals els que assolixen protagonisme. Com es pot observar a la Fig. 5, l'altura significant de l'onatge té una debil tendència a l'increment durant el període d'estudi, la qual cosa concorda amb l'increment de l'energia dels temporals que ha trobat per al golf de València PARDO-PASCUAL (2021). De la sèrie temporal, destaquen 13 episodis amb altura significant de l'onatge (H_s) que han superat els 3 m, deu d'ells en la darrera dècada. Hi ha tres episodis que depassen els 4 m d' H_s , dos amb més de 5 m i el temporal Glòria, el 20 de gener de 2020, que va superar els 6 m. En aquest darrer temporal els paràmetres de l'onatge van adquirir valors extraordinaris a les costes mediterrànies, provocant fortes inundacions a la costa i greus danys econòmics (AMORES *et al.*, 2020; SANCHO-GRACIA *et al.*, 2021).

Pel que fa a l'onatge durant els temporals, al punt 2085119, el vent rola a E o ENE en la majoria dels casos i, només al 2015, bufa de l'ESE (Taula 2). Tot considerant l'altura significant (H_s), el temporal més important esdevingué al gener de 2020 (6,07 m), seguit a prou distància pel de novembre de 2001 (5,48 m), novembre de 1967 (4,86 m), gener del 2017 (4,58 m) i desembre de 1980 (4,71 m). La resta dels temporals van superar els 3 m d'altura significativa, destacant el d'octubre de 2003 (3,94 m), el de no-

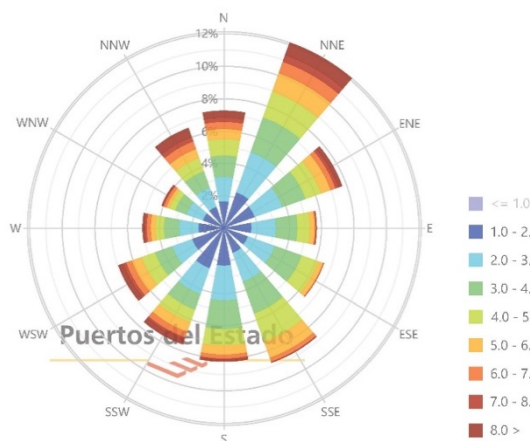


Fig. 3. Rosa de velocitat mitjana dels vents (m/s) entre 1958 i 2021, al punt SIMAR 2085119, situat enfront de la gola septentrional, mar endins (Font: *Puertos del Estado*). L'anàlisi de la rosa suggereix que els vents dominants procedeixen del primer quadrant i, de forma secundària, del segon.

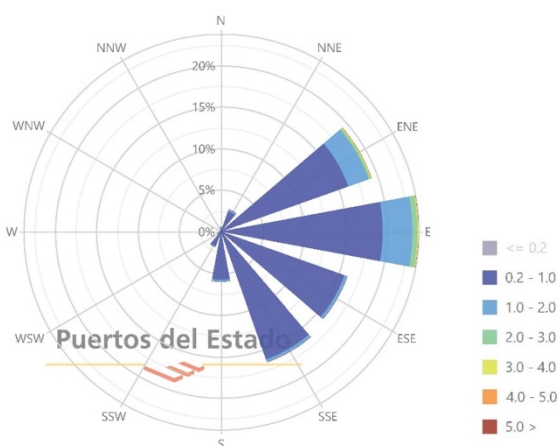


Fig. 4. Rosa d'altura significant de l'onatge (m) entre 1958 i 2021, al punt SIMAR 2085119. Font: *Puertos del Estado*.

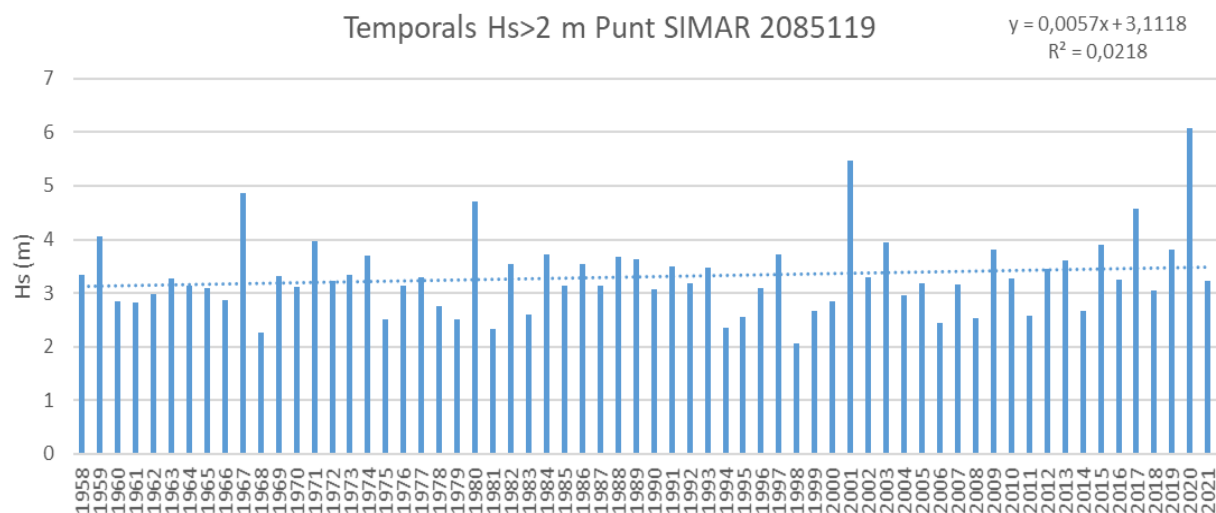


Fig. 5. Episodis de temporals amb valors de Hs >2 m (només es representa el valor màxim del temporal de cada any) al punt SIMAR 2085119. Font: *Puertos del Estado* (Elaboració pròpia).

vembre de 2015 (3,91) i el d'abril de 2019 (3,81 m). Pel que fa a la morfologia del fons marí, es pot deduir de les batimetries del MITECO, tal i com s'aprecia a la Fig. 6, que es tracta d'un fons accidentat, sobretot a partir de la isòbata de 6 m, amb nombroses irregularitats mar endins. Els primers 5 m de profunditat tenen major pendent davant la gola central (2,6%) del *fan delta* que no pas als sectors meridional (2,3 %) i septentrional (1,8%). Tanmateix, mar endins, passats els 20 m de profunditat, el pendent es major al sector nord (1,9%) que al sud (1%).

Des del punt de vista morfològic, les isòbates mostren concavitats i convexitats lligades a antigues formes fluvials submergides. Coincidint gairebé amb l'espigó de la gola septentrional, a partir dels -7 m apareix una convexitat que pot ser un con fluvial dipositat per un paleocaixer que s'albirava terra endins; a més a més, davant de la mateixa gola, hi ha una acumulació dels sediments de la dita gola (-5 m). La gola central no presenta cap irregularitat, més enllà de que la isòbata de -1 m mostra l'inici d'una barra

Taula 2. Variables dels temporals més importants al punt SIMAR 2085119. Font: *Puertos del Estado* (Elaboració pròpia).

Data GMT (any, mes, dia, hora)	Altura significant de l'onatge (m)	Període Mitjà (s)	Període del Pic (s)	Direcció mitjana de procedència (0=N,90=E)
1967.11.21.09	4,86	7,75	10,2	85
1980.12. 28. 22	4,71	8,15	11,24	87
1989.12.02.13	3,64	6,51	8,47	88
2001.11.15.22	5,48	8,61	11,36	88
2002.03.29.17	3,29	6,42	8,7	88
2003.10.16.05	3,94	6,99	9,62	82
2005.03.01.15	3,19	6,52	9,43	82
2007.01.26.15	3,15	5,75	8,25	66
2009.12.14.15	3,82	6,58	10,02	58
2015.11.02.11	3,91	6,94	9,25	122
2017.01.19.18	4,58	7,31	9,85	69
2019.12.04.08	3,81	6,59	10,01	67
2020.01.20.06	6,07	7,99	12,11	76

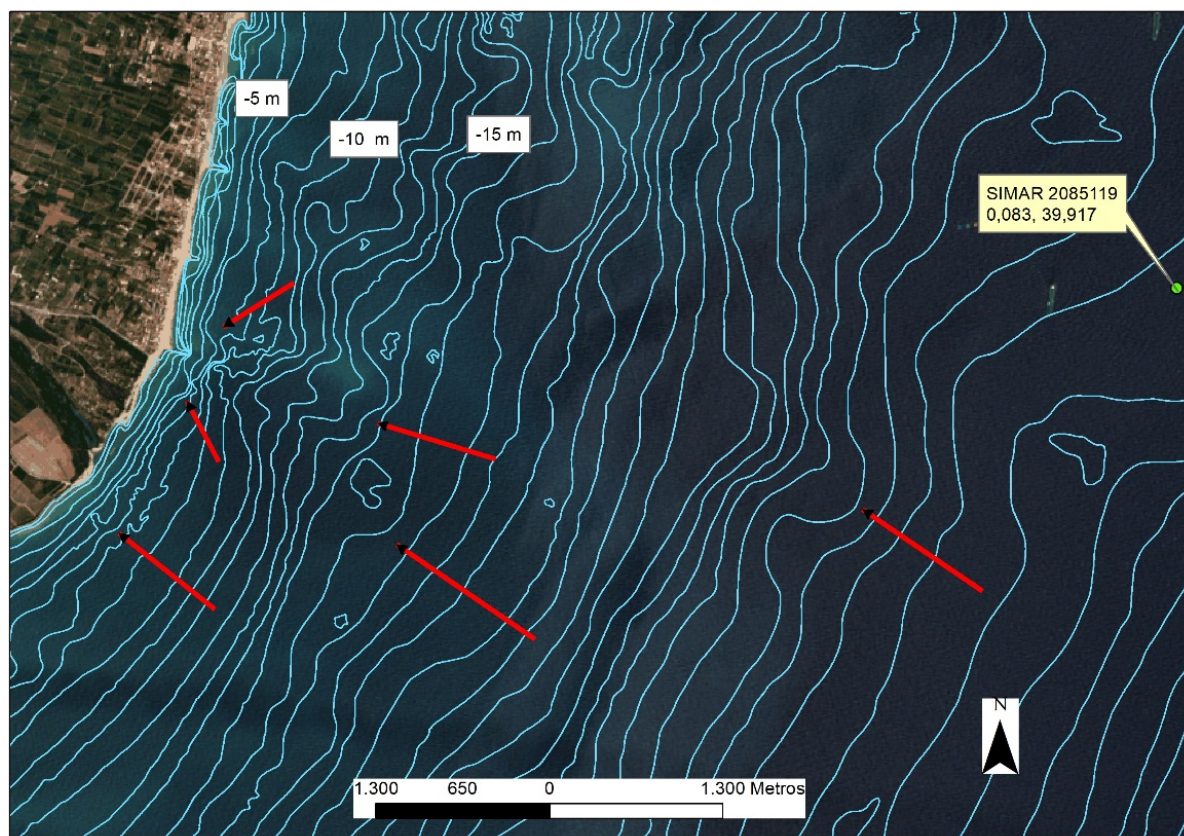


Fig. 6. Isòbates (equidistància d'1 m) enfront de la desembocadura del Millars i localització del punt SIMAR 2085119. Les fletxes marquen algunes concavitats i convexitats, tot indicant paleorellesus submarins lligats a antigues desembocadures. Font: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/default.aspx>.

que anys després tancarà la petita albufera que es veu a la Fig. 11. Pel que fa a la gola meridional, sembla que hi ha alguns canals (-6 m) (potser lligats a algun paleocaixer que s'endevina terra endins) i la petita acumulació de la gola actual on està creixent una fletxa que penetra cap al riu.

A banda, d'aquests trets a petita escala, la morfologia general de les isòbates més enllà dels -10 m mostren una convexitat que abasta la desembocadura central i la meridional, mentre que enfront de la gola nord, el possible paleoventall mostra alguns canals. Aquestes formes submergides suggereixen una progradiació de la línia de costa lligada a la formació de ventalls deltaics antics. A falta de datacions i com a primera hipòtesi, sembla que la desembocadura s'ha desplaçat cap al sud al llarg del Quaternari. De fet REY *et al.* (1999), van cartografiar dos ventalls, atribuint el més septentrional a una formació relict i el meridional al ventall deltaic actual, encara que l'escala poc detallada d'aquell treball n'impedeix una identificació precisa.

Actuacions antròpiques rellevants durant el període

Malgrat que els darrers quilòmetres del riu Millars han estat declarat paratge protegit al 2000, el caixer del riu ha estat alterat en nombroses ocasions. A la fotografia aèria de l'any 1967 s'observa que s'han extret les graves i s'han destruït les formes fluvials; també a la de 1976 es veu una restricció del caixer *braided*, que s'ha trencat en diverses revingudes posteriors. L'extracció d'àrids s'ha mantingut activa durant molt de temps, encara que no hi ha dades específiques de la zona; només consten 2.500 tm a la conca del Millars sense identificar d'on s'han tret (SEGURA, 2004).

El port de Castelló, situat 7 km al nord de la desembocadura, ha crescut en diferents fases des de 1893, provocant un retrocés generalitzat de les platges (PARDO, 1991); a més, entre les fotografies

aèries de 1967 i 1976 s'ha construït un espigó perpendicular immediatament al nord de la desembocadura del riu, que ha provocat una mossegada de la platja enfront del braç septentrional.

Les formes de la desembocadura: cartografia i evolució

La línia de costa ha retrocedit des de la posició que tenia al 1956 fins a l'actualitat, amb alguns daltabaixos. Com a tret general, s'ha passat d'una línia de costa rectilínia a una altra més irregular, amb petites concavitats i prominències. El retrocés més significatiu va ser el de 1976, que registra l'erosió aigües avall de l'espigó de la gola nord, indret on la reculada de la platja és màxima. El retrocés de la línia de costa assoleix el seu valor màxim, de manera que a prou penes queda platja en tot el sector; només les barres de la desembocadura queden com a petites prominències. Aquesta situació és ben cridanera i, malgrat que és una de les fotografies georeferenciades i, per tant, més imprecisa, les imatges mostren aquesta situació ben a les clares (Figs. 7 i 9). A partir d'aquesta data la línia de costa prograda lentament, amb daltabaixos importants. Només en dues ocasions s'ha superat la línia de 1956: el 1990 i el 2020. En el primer cas el creixement es va produir per un període de revingudes sostingudes durant un mes, fent creixent les tres goles (Figs. 7 i 9). Al 2020 no va haver-hi cap revinguda important, però el temporal Glòria va provocar la progradació de les goles central i septentrional, mentre que la meridional romangué gairebé estable. El comportament de les goles ha variat amb el temps: la septentrional avui en dia, a prou penes ha assolit la línia de costa de 1956; la gola central l'ha superada i la meridional, quasi no ha canviat. Les dos primeres semblen inactives des de l'any 1990, mentre que la del sud vehicula les riuades (Fig. 9). La migració del canal actiu cap al sud és un tret generalitzat a les goles de les desembocadures del golf de València –segurament té a veure amb la dinàmica marina–, però en aquest cas, també està provocada per la restricció del caixer *braided* que va desviar l'aigua cap al braç meridional.

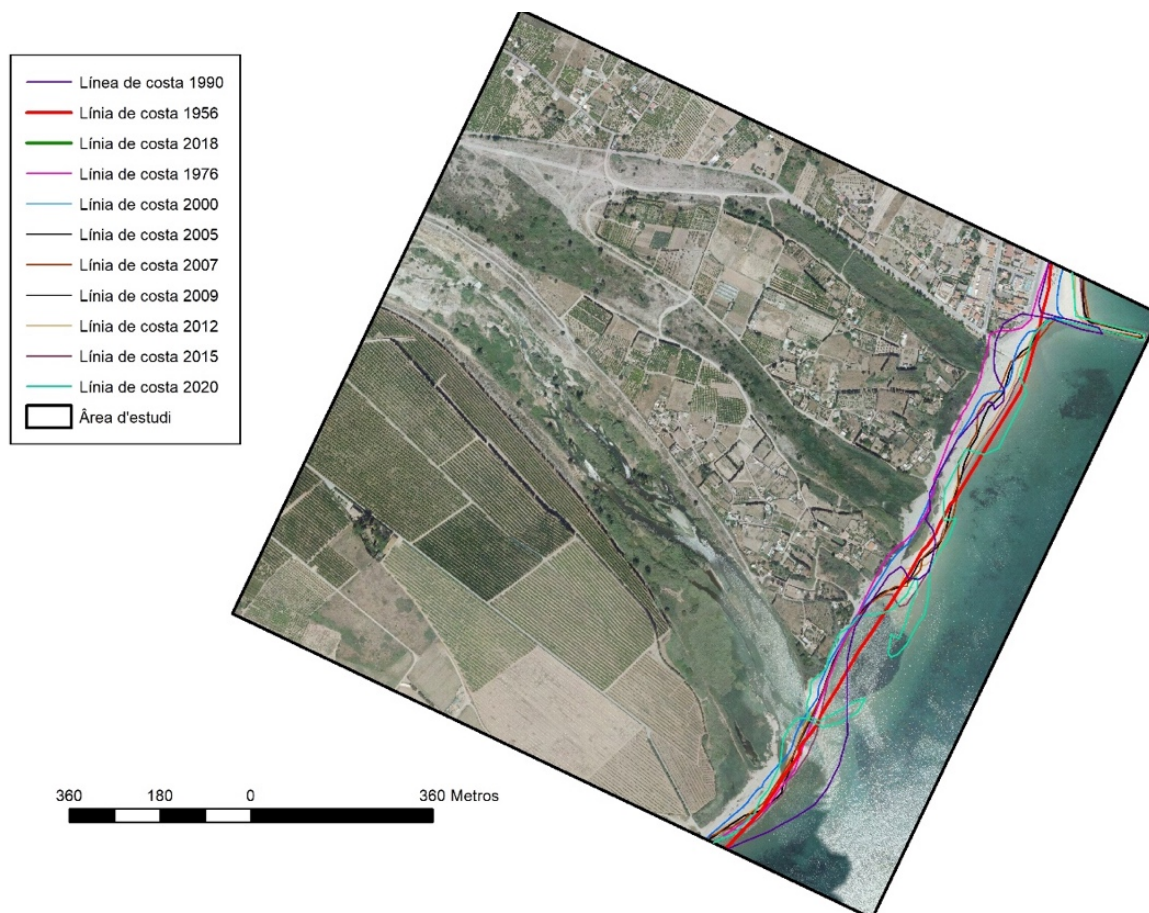


Fig. 7. Línies de costa entre 1956 i 2020. Font: ICV. Elaboració pròpia

Taula 3. Superfície (ha) ocupada per cadascuna de les formes cartografiades.

Tipus formes	1956	1976	1990	2000	2003	2005	2007	2009	2012	2015	2018	2020
Platja	1,9	0,8	1,2	1,8	2,6	2,4	3,2	3	3,1	3,8	3,8	5,5
Barres fluvials	34,5	32,6	35,4	33,9	34,5	33,6	33,8	33,9	33,9	33,9	33,9	33,9
Cordó litoral	1,4	1,3	1,1	1,3	2,7	2,2	1,9	2,1	2,1	2,3	2,3	2,2
Canal fluvial	58,8	47,8	43,9	45	44,8	45,1	45,1	44,09	45	45,4	45,4	44,6
Aigua			15,6	3,8	6,6	4,3	4,4	4,9	4	4,5	4,5	3,6
Cordó - restinga					0,2	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	1,1
Albufera					0,1	0,4	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4
Total formes	96,6	82,5	97,2	85,8	91,5	88,8	89,6	90,1	89,3	91	91	91,4

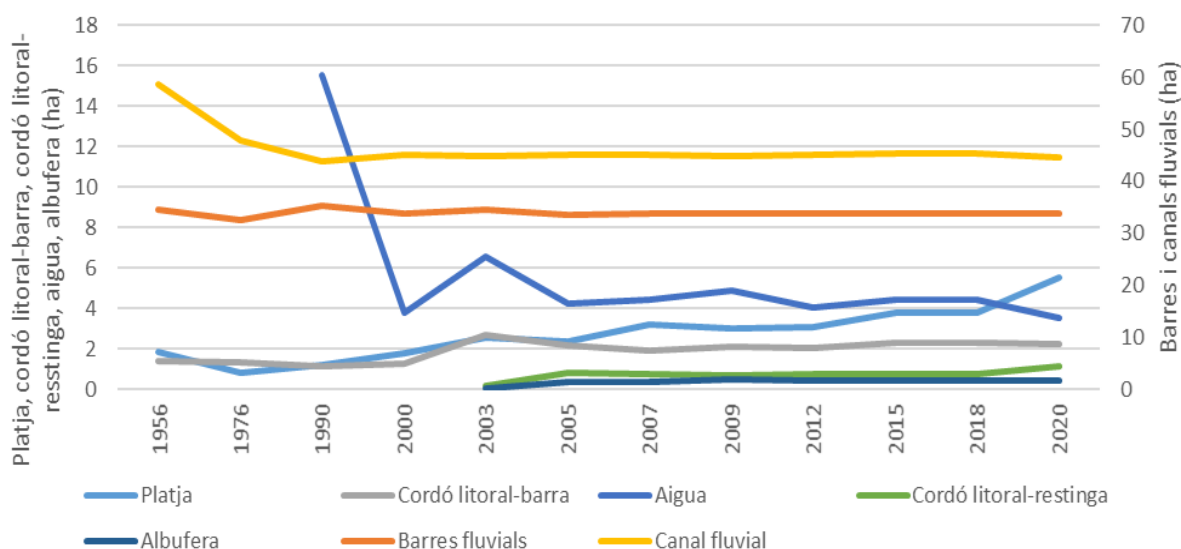
Quan a les formes, la desembocadura fluvial és complexa i està constituïda per tres canals, separats per dos barres fluvials triangulars. Encara que la classificació n'és difícil, els resultats de la cartografia diacrònica mostren que en l'àmbit fluvial, es produeix una reducció del canal i de la superfície ocupada per l'aigua i un augment de les barres (Taula 3, Fig. 8).

Pel que fa les formes litorals, la superfície de platja i el cordó litoral-barra que tanca les goles, augmenten de superfície. A partir de l'any 2003 apareixen petites albuferes que romanen més o menys estables al llarg del període d'estudi, sent una des les característiques més cridaneres d'aquesta desembocadura (Taula 3, Fig. 8)

Els processos i les formes de la desembocadura: relació de forces entre els processos marins i els fluvials

Encara que les xifres de la taula 3, donen una idea de l'evolució de la desembocadura, per entendre millor els processos cal treballar a petita escala i observar els canvis de cada gola, resumits a la taula 4 i les Figs. 9 i 10. Els moments més significatius respecte a l'evolució de la desembocadura es produeixen al 1976, 1990, 2002, 2015, 2020 i 2021. L'evolució de la zona al 1967 i al 1976, mostra una costa rectilínia, encara que amb un fort retrocés (Figs. 9 i 10). Durant aquest període les tres goles romanen actives, tancades per barres rectilínies. Crida l'atenció, que malgrat que la rambla de la Viuda a l'octubre de 1962 va tenir la revinguda més important del període (657 m³/s), s'haja produït aqueix fort retrocés.

A la imatge de 1967, la línia de costa roman al mateix lloc que en el període anterior, però encara no està fet l'espigó, mentre que al 1976 se n'observa clarament l'efecte de la seua construcció. També coincideix aquest període amb una forta extracció d'àrids que ha netejat el riu de sediments i, a més, tancant un espai albuferenc i una barra circular tancant un espai deltaic a la gola sud (Fig. 9). Cal pensar

**Fig. 8.** Evolució diacrònica de les formes de la desembocadura.

Taula 4. Síntesi dels canvis ocorreguts en el període en cadascuna de les goles.

DATA IMATGE	MODIFICACIONS	GOLA NORD	GOLA CENTRAL	GOLA SUD
04/07/1956		Cordó-barra tancat. Costa recta	Cordó-barra tancat. Costa recta	Cordó-barra tancat. Costa recta
18/07/1967	Sí. Costa rectilínia, regressiva	Extracció àrids. Restricció caixer. Cordó-barra tancat. Costa recta	Extracció àrids. Restricció caixer. Cordó-barra tancat. Costa recta	Extracció àrids. Restricció caixer. Cordó-barra tancat. Costa recta
01/03/1976	No. Costa rectilínia	Extracció àrids. Restricció caixer. Espigó. Cordó- barra tancat. Costa recta	Extracció àrids. Restricció caixer. Espigó. Cordó- barra tancat. Costa recta	Extracció àrids. Restricció caixer. Espigó. Cordó-barra tancat. Costa recta
01/01/1990	Sí. Costa progradant	Cordo-restinga tancant albufera	Cordo-restinga tancant albufera	Cordo-restinga circular tancant albufera
00/08/2000	Sí. Costa rectilínia i regressiva	Desaparició albufera. Petit ventall deltaic	Cordó-barra tancat	Cordó-barra tancat
13/08/2002	Sí. Progradació parcial	S'inicia creixement fletxa adossada a l'espigó	Cordó-barra tancat. Per davant, creixement cordó- fletxa. Emersió de barra ?	Cordó-barra obert. Dos fletxes adossades al caixer, acabades en ganxos: N-S la septentrional i S-N la meridional. La darrera, penetra per la desembocadura
25/4/2003 13/6/2003	Sí. Progradació	Cordó-barra tancat. Progradació per creixement de la barra. Fletxa amb ganxo (N-S) adossada a l'espigó	Cordó-barra tancat. Per davant, creixement cordó- fletxa amb ganxo (N-S), que s'ha adossat a la platja	Cordó-barra obert. Dos fletxes adossades al caixer, acabades en ganxos: N-S la septentrional i S-N la meridional. La darrera, incorpora una microalbufera
21/08/2005 7/11/2005	No	Igual que 2003	Igual que 2003. Cordó més tancat	Igual que 2003. Cordó més tancat
08/07/2007	No	Igual que 2005. Cordó-barra tancat. S'intueix barra submarina	Cordó-restinga i albufera tancada però restinga més ampla. S'intueixen ganxos en les dos direccions	Cordó-barra tancat per convergència dels dos ganxos
14/8/2007 2/9/2007	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
12/05/2009	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Cordó-barra obert i petita ploma de sediments
5/8/2009 25/9/2009	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
11/07/2011	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior, però cordó-barra tancat

Taula 4 (continuació). Síntesi dels canvis ocorreguts en el període en cadascuna de les goles.

DATA IMATGE	MODIFICACIONS	GOLA NORD	GOLA CENTRAL	GOLA SUD
29/08/2011	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
23/06/2012	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
16/6/2012 28/7/2012	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
17/07/2014	No	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
6/5/2015 3/8/2015	Sí, parcial progradació	Lleugera progradació de la barra	Creixement fletxa amb ganxos (N-S)	Cordó-barra obert, amb adhesió de dos ganxos a la barra meridional (direcció N)
22/10/2015	Sí, parcial progradació	Igual que l'anterior	Creixement fletxa amb ganxos (N-S) que tanquen microalbufera	Cordó-barra obert i formació d'una barra recta i ganxo transformat en illa
16/11/2016	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Cordó-barra tancat format per doble fletxa i dos ganxos de direcció oposada. Progradació fletxa meridional
08/06/2017 23/08/2017	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
02/09/2017	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
13/6/2018 24/8/2018	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
02/08/2018	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
14/05/2019 30/06/2019	no	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior	Igual que l'anterior
10/02/2020	sí	Creixement d'un cordó. Emersió barra submarina?	Creixement d'un cordó per davant de l'antiga albufera ja desapareguda. Emersió barra submarina?	Cordó-barra obert i formació de ploma i un petit ventall deltaic (S-N)
22/05/2020	sí	Cordó-restinga tancat i formació microalbufera	Fletxa adossada a l'antiga restinga (petit delta) amb ganxos de doble direcció. El del nord tanca una microalbufera	Creixement d'una fletxa adossada al cordó-fletxa interior que roman obert

s'ha fet una restricció del llit trenat (*braided*), que a part de constrènyer el canal actiu, ha destruït totes les formes fluvials (SEPÚLVEDA *et al.*, 2018). Durant el període no es produeixen grans temporals, excepte el de novembre de 1967, que no es veu reflectit a la Fig. 9 perquè és posterior.

Al 1990, la situació canvia radicalment i s'observa una forta progradació del riu a les tres goles (Fig. 9 i 10). No cal oblidar que els rius va estar abocant aigua durant els mesos de desembre 1989 i gener de 1990. També es va produir un fort temporal el dia 2 de desembre ($H_s = 3,64$ m), que va ser previ als pics de les revingudes dels rius (30 de desembre). Les formes són les més complexes de totes: dos barres rectes paral·leles a la costa, a les goles nord i central, amb dos ganxos cap al nord i cap al sud, quasi quasi tancant un espai albuferenc i una barra circular tancant un espai deltaic a la gola sud (Fig. 9). Cal

DESEMBOCADURES FLUVIALS: ENTRE EL MAR I LA TERRA. EL CAS DEL RIU MILLARS

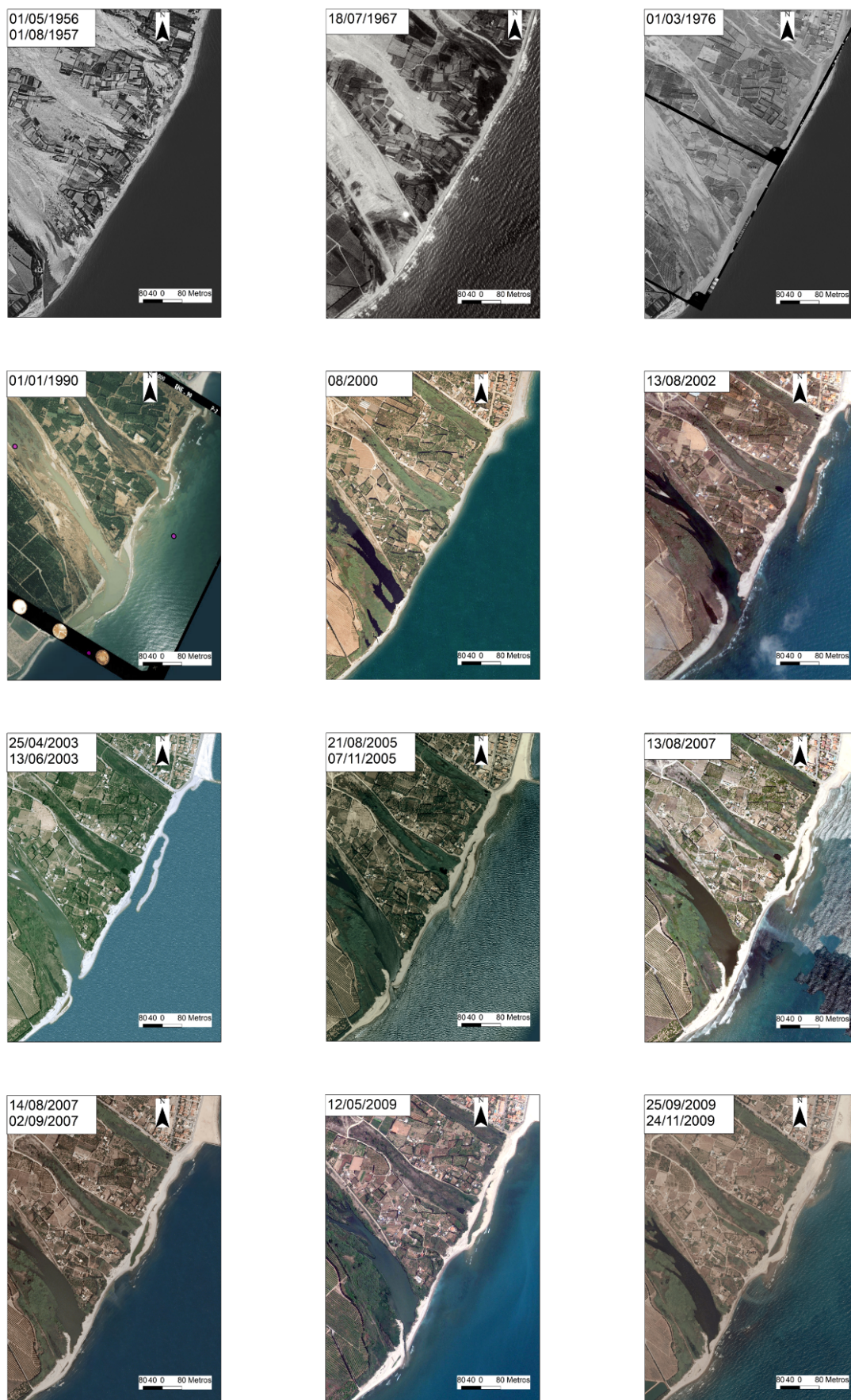


Fig. 9. Fotografies i ortofotografies de la zona d'estudi entre 1956 i 2020. Font: ICV i Google Earth.

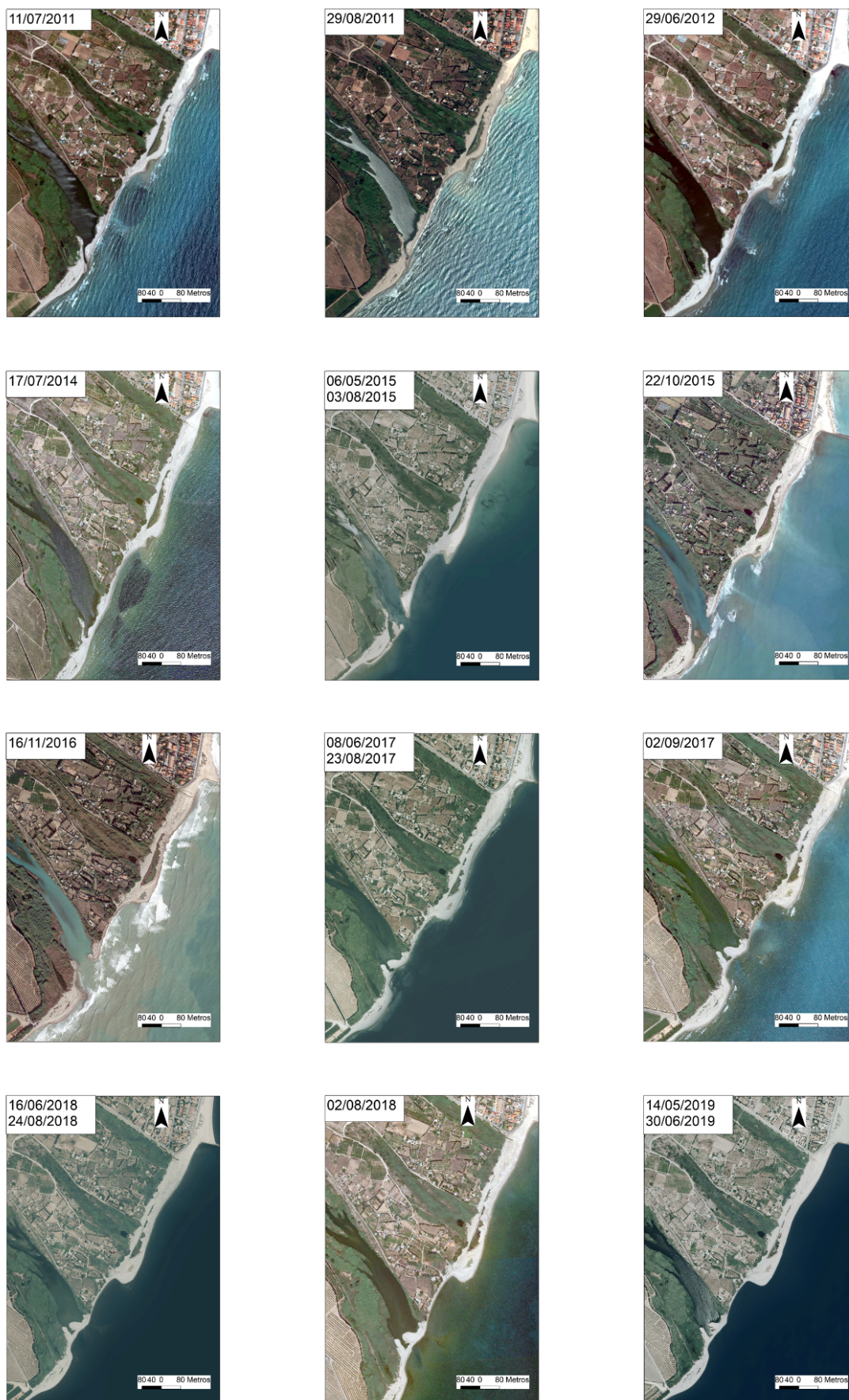


Fig. 9 (continuació). Fotografies i ortofotografies de la zona d'estudi entre 1956 i 2020. Font: ICV i Google Earth.

pensar que la difracció de l'onatge és la responsable d'aquestes formes. La forta progradació de la desembocadura, desapareix en dates posteriors, segurament com a conseqüència dels temporals que netegen la zona de sediments.

La següent fita de la que tenim registre a les fotografies aèries és al 2002 (Fig. 9), on s'aprecien canvis significatius a les gòles central i meridional. A la primera, es va formar un cordó litoral recte i paral·lel, però separat uns 50 m de la línia de costa. La gola meridional s'ha obert, amb dos cordons litorals ambdós costats: el més septentrional, acaba en un ganxo en sentit S-N, mentre que el meridional està orientat en sentit contrari. Aquesta doble direcció fa pensar en direccions d'onatge oposades --de l'E o NNE per al septentrional i del SE per al meridional-- o bé l'acció de la refracció/difracció de l'onatge que provoca una doble direcció del moviment dels còdols durant els temporals més forts (MORALES *et al.*, 2004 i 2006).

Les dos fletxes de la gola meridional romandran més o menys estables a partir d'aquest moment, quedant com dos apèndixs que penetren cap a l'interior de la gola (Fig. 9). A l'any 2003, l'única diferència és que el cordó central s'enganxa al continent per l'extrem septentrional, produint-se el tancament total d'una bassa al 2006, mentre que el meridional, en adherir-se al continent per un ganxo, en tanca una altra. Aquestes formes no existien a la foto de 2000, anterior a la forta riuada de l'octubre de la rambla de la Viuda ($225 \text{ m}^3/\text{s}$, el dia 26). Així doncs, no queda clar si la progradació de 2002 és conseqüència d'aquesta riuada o de l'apilament del material en forma d'un *ridge* degut als temporals. Val a dir que al novembre de l'any 2001, es va produir un que va assolir una H_s de 5,48 m, sent el major de la sèrie en el punt SIMAR fins a aqueix moment. Així doncs, la progradació detectada a les imatges de 2002 i 2003 deu ser conseqüència d'aportacions fluvials de la riuada de 2000 i la posterior redistribució pels temporals.



Fig. 9 (continuació). Fotografies i ortofotografies de la zona d'estudi entre 1956 i 2020. Font: ICV i Google Earth

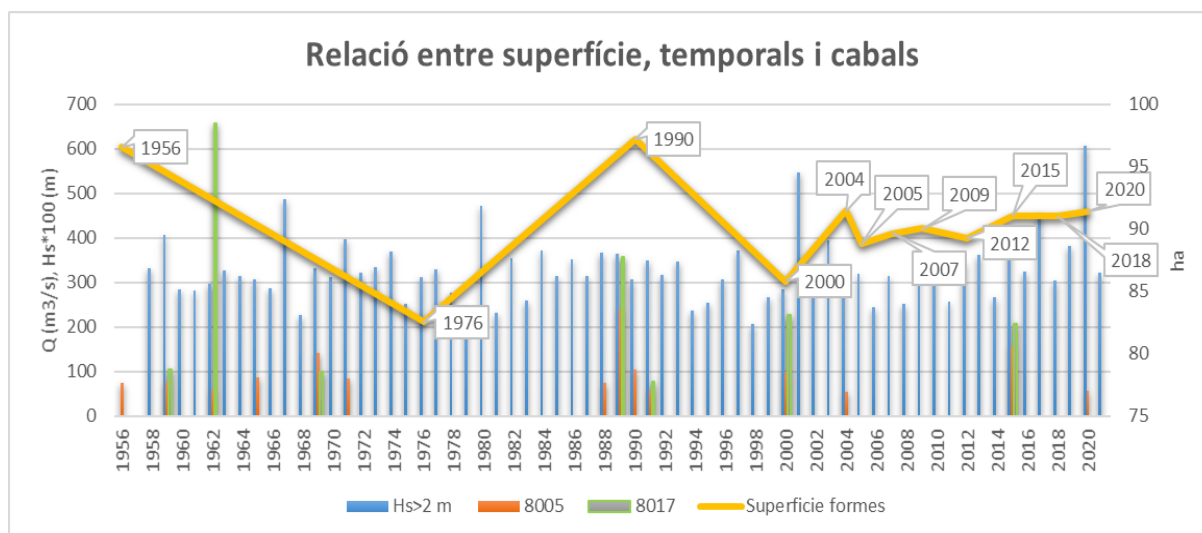


Fig. 10. Evolució de la superfície de la zona d'estudi, cabals dels aforaments 8005 (Millars, la presa de Vila-real) i 8017 (rambla de la Viuda, eixides de l'embassament de Maria Cristina) i H_s dels principals temporals (el valor s'ha multiplicat per 100 per tal de poder representar-lo en el mateix gràfic d'una manera visible). Font: CEDEX, SIA-CHJ i *Puertos del Estado*. Elaboració pròpia.

La següent fita important es produeix al 2015, on es registra una petita progradació (Fig. 10) que també s'observa en les tres imatges d'aquest any (Fig. 9). La gola central roman tancada i enfront, la petita albufera manté la restinga tancada, però la fletxa que se li adossa avança cap al sud mitjançant successius ganxos. La gola meridional roman oberta, com a conseqüència de les dues riuades que s'han produït durant l'any: el Millars va tenir un pic de $206,8 \text{ m}^3/\text{s}$ el dia 24 de març i la rambla de la Viuda, de $156,06 \text{ m}^3/\text{s}$, el 3 de novembre. La petita progradació (Fig. 9 i 10) respon al primer esdeveniment, atès que el segon és posterior a les ortofotografies. Tanmateix, potser aquest es reflexa a la imatge de 2016, on s'albira una barra submarina submergida que marquen els ones en trencar. Probablement haja estat generada pel temporal del 2 de novembre de 2015 que, coincidint amb la revinguda de la rambla de Viuda, va produir un fort onatge, amb una H_s de 3,91 m.

Als anys següents aquestes formes desapareixen i l'estabilitat regna a la zona fins al 2020. Durant aquest any els canvis són notables: a la imatge de febrer es veu un xicotet ventall (o plomall?) a la gola meridional, on el riu segueix rajant, encara que amb cabals minsos. També és rellevant que la microalbufera de la gola central s'ha reblert, incorporant-se a la platja i s'ha format una altra barra paral·lela a la costa, que s'allarga fins a la gola meridional. Malgrat que els rius no aboquen cabal significatiu, en aquest moment ja s'ha produït el temporal Glòria, que ha estat considerat un dels més importants del segle XX (AMORES *et al.*, 2020). Al punt SIMAR 2085119 s'ha estimat una H_s de 6,07 m, a les 6 del matí del dia 20 de gener.

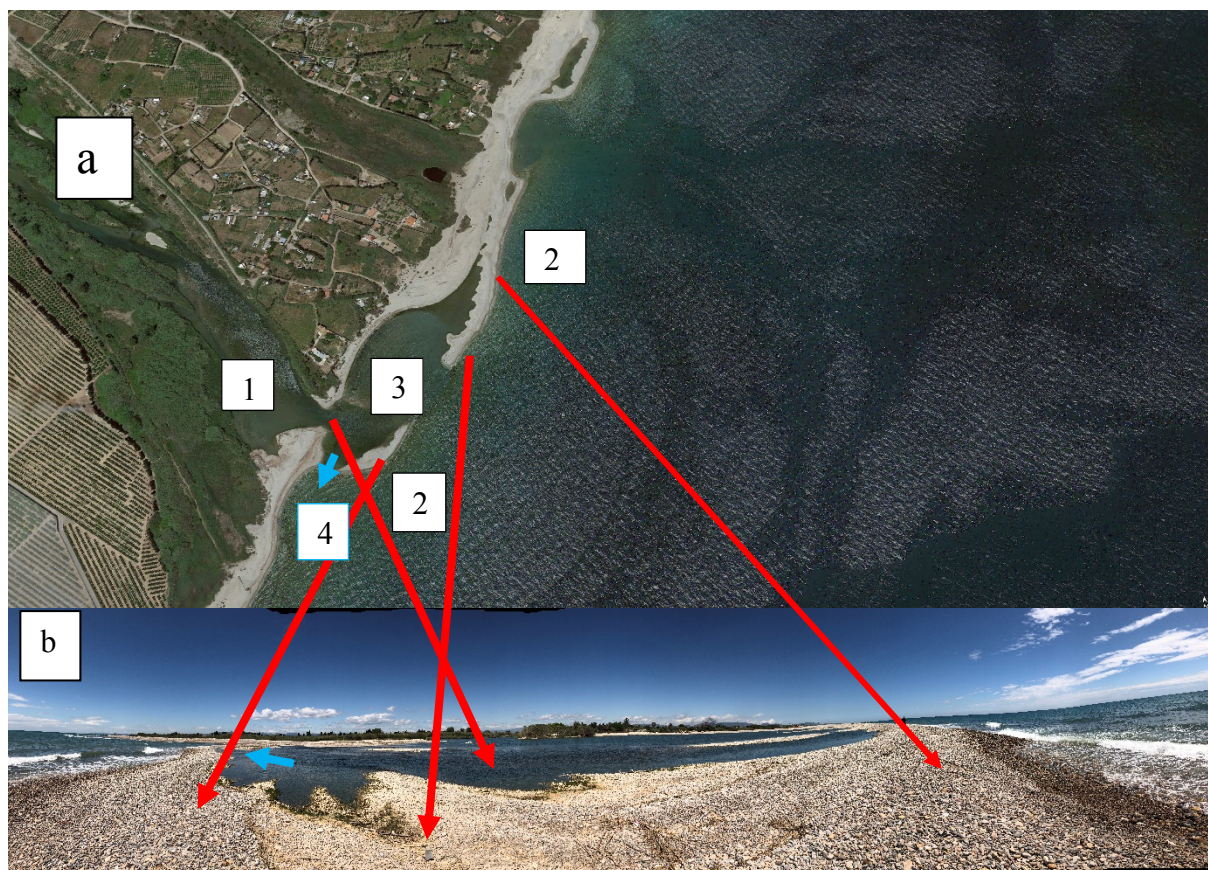


Fig. 11. Evolució de la gola meridional entre els mesos de maig de 2020 (a) i de 2021 (b). En la imatge (a) la gola meridional apareix tancada per una doble barra: una primera trencada pel riu, on s'albiren dos fletxes amb ganxos orientats en sentit contrari (1), que penetren dins del riu i per davant, dos fletxes més amb ganxos progradants de direccions contraries però desconnectats (2). A la imatge (b), restinga circular que tanca la gola meridional el 12 de maig de 2021. Al llarg de l'any s'han connectat les dos fletxes, que s'han transformat en una restinga circular que tanca una microalbufera (3), oberta per una gola lateral per on desguassa el riu (4, fletxa blava). Font Fig. 11a: ICV.

Al mes de maig les formes havien evolucionat: el cordó de la gola central s'havia convertit en una fletxa amb un ganxo a la part septentrional (sentit S-N) que tanca una petita albufera, mentre que pel sud la fletxa avança mitjançant successius ganxos progradants (sentit N-S). Al mateix temps, a la gola meridional s'ha format una barra que avança cap al nord amb un ganxo final (sentit S-N). Actualment les formes han evolucionat prou més, de manera que a la gola central encara queden restes de la bassa i a la meridional s'ha tancat una albufera prou gran, amb una barra circular semblant a la de 1990. El riu desguassa per una petita gola que s'albira en un trencall de la imatge de maig de 2020 (Fig. 11) però la restinga té forma completament circular. Val a dir que, després del Glòria, s'han produït tres temporals més amb $H_s > 2$: al març, abril i novembre de 2020 i (per tant, posteriors a les imatges de la Fig. 9) i al 2021, al gener i març amb H_s que han estat entre 2,5 i 3,5 m. Per tant, és probable que aquesta forta recurrència dels temporals siga responsable de la situació actual.

L'evolució de la línia de costa durant el període ha estat d'avanços i reculades successives i, fins a 2020, no s'ha superat la línia de costa de 1956. A la part septentrional i central la progradació sembla consolidada; a la part meridional és més dubtosa, ja que és difícil predir l'evolució de l'albufera circular que hi ha entre la gola central i la meridional. Com a corol·lari, dir que la gola meridional s'obri o es tanca en funció de les revingudes, mentre que la central i la meridional no mostren activitat des de l'any 2002. Sembla per tant, que les dues goles perden funcionalitat i només la meridional vehicula les revingudes fluvials.

La dimensió vertical i les microformes

La cartografia feta a partir d'imatges aèries només permet analitzar les formes i l'evolució en dues dimensions; tanmateix, el treball de camp permet fixar-ne la tercera dimensió i les microformes que escapen a l'objectiu de la càmera.

Vistos al camp, els successius cordons que tanquen les goles de la desembocadura adopten la forma d'un *ridge* de materials gruixuts, que pot assolir una alçada de 2-3 m en alguns indrets. El calibre del sediment de totes les formes és molt groller: són còdols amb un diàmetre que freqüentment supera els 10 cm i grava gruixuda, encara que el processos de rentat fan que per sota el material siga més fi, com confirmen algunes lletilles intercalades entre el gruixut codolar (Fig. 12). Per les seues característiques són semblants al *ridge* que tanca l'albufera de Torreblanca (SANJAUME *et al.*, 1990), encara que adopten diverses formes segons on s'adossen.

Al començament de la sèrie, les tres goles estaven tancades per cordons rectes (Fig. 9), però més endavant, comencen a aparèixer els altres tipus. A la gola central –i en algun cas també a la septentrional– han predominat els cordons-fletxa, que en adossar-se al continent pels dos extrems,



Fig. 12. Calibre dels sediments dels *ridges*. Dimensions del mòbil: 15 x 7,5 cm



Fig. 13. Ganxos progradants que penetren dins de l'albufera de la gola meridional i que ajuden al seu reblliment.

s'han convertit en restingues, que tanquen microalbuferes que amb el temps es rebleixen i passen a formar part de la platja. El paper dels ganxos (Fig. 13) és fonamental en el tancament i posterior rebliment de les microalbuferes, responsabilitat compartida amb els *washover fans*, generats durant els temporals forts per processos d'*overwash* (LEATHERMAN *et al.*, 1987), que ajuden a créixer vertical i horitzontalment el cordó litoral, per apilament (Figs. 13 i 14). Quan les basses queden reblertes, s'incorporen al continent i acaben convertint-se en un ventall deltaic. El mecanisme consisteix, per tant, en la migració terra endins dels *ridges* que, malgrat tot donen una seqüència lleugerament progradant, que es pot identificar en les imatges.

Pel que fa a les restingues circulars que es formen a la desembocadura meridional, els processos i les microformes són els mateixos, però potser la curvatura siga l'efecte de la major funcionalitat de la gola fluvial: al vehicular els cabals de manera prioritària potser ofereix major resistència a l'onatge, però també potser conseqüència de la morfologia del fons, del volum d'aportacions fluvials o de la direcció de l'onatge. En qualsevol cas, la formació d'aquests cordons, ateses les dimensions dels sediments, no pot dependre del corrent litoral, que no té capacitat de transportar-los. Per tant, cal pensar en la difracció de l'onatge i l'apilament durant els temporals per a explicar la seua gènesi. També cal tenir en compte la topografia del fons marí, que deu canviar a cada revinguda, però malauradament, només tenim informació de les isòbates de l'any 2009-10. Com a hipòtesi, les barres rectes que tanquen les goles han estat formades per onatges paral·lels a la costa en moments de baixa aportació fluvial, mentre que els cordons-restinga circulars –com els que es va formar l'any 1990 i el 2020 a la gola meridional–, deuen ser conseqüència d'una forta aportació fluvial, continuada durant el temps (Fig. 9) i, per tant, d'un predomini dels processos continentals sobre el marins, en la mesura que la progradació és major. Així doncs, l'evolució de la zona consisteix en un conjunt de *ridges* progradants que s'adossen uns als altres i que fan avançar la línia de costa. Tenen altures diferents i dins de cadascun s'hi observen diferents nivells de bermes de temporal. A la gola meridional, el *ridge* actual té un desnivell de 2'5-3 m i es poden observar 3 i 4 bermes segons els sectors. Cal pensar que són resultats dels importants temporals esdevinguts durant els anys 2019 i 2020 (abans no existia aquest cordó) (Fig. 15).

El calibre dels materials que conformen els *ridges* indica la gran energia de les ones que els han mobilitzat. Si bé aquest és un tret dominant en tota la zona, atès que són els sediments típics de rius d'alta energia (tipus *braided*), és possible que també reflecteixin l'increment d'energia de l'onatge dels temporals dels darrers anys que s'albira en aquest treball (Fig. 5) i també detecten alguns autors (PARDO, 2021) i, per suposat, l'efecte del Glòria (AMORES *et al.*, 2020).



Fig. 14. Microalbufera de la gola septentrional, a mig reblir pels *washover fans*. L'albufera continuava cap al sud, seguint l'alineació de la vegetació.



Fig. 15. Bermes de temporal a la restinga circular de la gola meridional.

Discussió i conclusions

Al llarg del treball s'ha posat de manifest la complexitat de l'evolució de la desembocadura del Millars. Malgrat que és únicament l'estudi d'un cas i els resultats no es poden generalitzar, si que hi ha una sèrie de qüestions rellevants sobre les que convé reflexionar:

Sobre qüestions metodològiques

Les fotografies aèries i les ortofotografies estan a l'abast de tothom i, avui en dia, tenen una resolució espacial i temporal extraordinària. Al llarg del treball, hem vist com en un mateix any pot haver-hi diverses fotografies que mostren canvis significatius però també poden passar uns quants anys sense canvis importants. Tanmateix, no cal oblidar que són imatges fixes que capten un ambient amfibi, efímer i de gran mobilitat, per la qual cosa no sempre capten el moment més interessant. Així, per tal d'esbrinar millor el funcionament dels processos que intervenen caldria combinar aquest tipus de registres històrics amb l'ús de drons i/o càmeres de vídeo, com ja es fa en altres indrets de la costa (GUERRERO i GUILLEN, 2020).

D'altra banda, la classificació de les formes de la desembocadura és molt difícil de fer, atesa la seua transformació. Els cordons-barra que tanquen les goles fluvials es poden obrir i tancar; les barres que apareixen paral·leles a la costa s'hi enganxen transformant-se en fletxes que acaben en ganxos i, si s'acoblen pels dos extrems, deixen una microalbufera més o menys tancada. Les formes són efímeres i no és fàcil deduir el paper que juguen els processos fluvials i els marins. Malgrat tot, és un intent d'entendre la gènesi i l'evolució dels ventalls deltaics, mostrant tota la seua complexitat.

Sobre la progradació fluvial i el dèficit hidrosedimentari dels sistemes fluvials i litorals

Una de les qüestions interessants és el fort retrocés de la costa als anys 60 i l'escassa progradació posterior al llarg d'un període que depassa el mig segle. Sens dubte el dèficit hidrosedimentari detectat als rius n'és responsable de la falta de sediments: els embassaments i la forta extracció d'àrids han fet minvar la font d'alimentació. L'acció conjunta d'aquestes intervencions humanes ha provocat una gran quantitat de canvis en rius perennes i efímers (POULOS i COLLINS, 2002; BATALLA, 2003; RINALDI *et al.*,

2005; PRECISO *et al.*, 2012; SURIAN i RINALDI, 2003; CONESA i PÉREZ CUTILLAS, 2014; SEGURA i SANCHIS, 2013; SANCHIS-IBOR *et al.*, 2017, 2018).

A més, la manca d'una gestió adequada dels recursos hídrics per mantenir el bon estat ecològic de sistema fluvial ha permès que continués encara més el deteriorament de la llera i el seu estrenyiment. Al cas del Millars-rambla de la Viuda, cal tenir en compte que l'embassament de Maria Cristina es va construir al 1920 i el Sitjar, al 1960. La localització d'ambdues infraestructures prop de la costa (Fig. 1) fa que la font d'alimentació de la desembocadura es redueixi a poc més de 20 km de caixer, atès que no hi ha cap affluent aigües avall. A més, la intensa extracció d'àrids detectada a la fotografia de 1967, encara va minvar més les aportacions. Les conseqüències ja van ser detectades per SEPÚLVEDA *et al.* (2018) al propi caixer del riu, on s'observà que entre 1956 i 1967 les extraccions d'àrids van destruir més del 75% de les formes. La restauració parcial de la morfologia fluvial es va produir amb les revingudes de 1990-1991, que van fer progradar el ventall deltaic i també, en menor mesura, a les riudes de l'any 2015, però fins a l'any 2020 no s'assoleix la posició de 1956. Pel que fa a la línia de costa, MATEU (1982) reporta un fort retrocés al sud del port de Castelló entre 1910 i 1935 (més de 150 m), com a conseqüència de la construcció i ampliació del port (acabat al 1922). Per a combatre l'erosió es van construir quatre espigons, un dels quals se situa aigües amunt de la gola nord (PARDO, 1991), i es responsable de l'erosió detectada a la zona a la fotografia de 1967.

A l'albufera de Torreblanca, situada al sud de la desembocadura del riu de les Coves, en un estudi que abasta pràcticament el mateix període (PARDO *et al.*, 2019), s'ha trobat un lleuger retrocés de la costa entre 1956 i 1966, i una certa progradació posterior fins a 1985. A partir d'aquest moment es produeix un retrocés brusc entre 1991 i 2002, coincidint amb els forts temporals de 2001-2002 i, posteriorment, es va guanyant platja fins a 2015, tot i que en aquesta data no s'havia assolit la línia de costa de 1956. Encara que les condicions són diferents en els dos espais, perquè a Torreblanca s'estudia una restinga, l'evolució global del període és la mateixa: una forta erosió fins als anys 1980, que es recupera molt lentament fins a l'actualitat. Els moments de retrocés i progradació no coincideixen en els dos indrets: cal tenir en compte que a la desembocadura del Millars les aportacions fluvials són directes mentre que a l'albufera de Torreblanca els sediments procedeixen de forma indirecta del riu de les Coves, situat un quilòmetre al nord de la restinga.

També hi ha certa similitud en el paper dels temporals: encara que al Millars no es pot captar la seua empremta, sembla que aquests són els responsables de la redistribució dels materials. A Torreblanca produeixen una forta erosió, encara que després, la platja es recupera poc a poc (PARDO-PASCUAL *et al.*, 2019); al cas del Millars, la situació és més complexa, tot depenent de si coincideixen amb riudes o no, els temporals poden provocar erosió o progradació de la costa.

A la desembocadura del Millars sembla que el creixement del ventall deltaic està associat a l'aparició de barres, fletxes i ganxos, que van creixent longitudinalment però també verticalment. La forta energia de l'onatge durant aquests processos fa créixer *ridges* successius i rebleix les microalbuferes, transformant així un espai marí-amfibi en una platja i, a la llarga, en un ventall deltaic. La seqüència seria la següent: formació d'una barra (recta si és únicament marina; corbada si són aportacions fluvials també), que es converteix en una fletxa, amb ganxos que tanquen microalbuferes. Els deltes de vessament (*washover fans*) i els propis ganxos, acaben reblint les llacunes i l'espai es transforma en una platja adossada al ventall deltaic.

Els resultats dels processos fluvio-marins descrits impliquen que la tendència evolutiva del ventall deltaic comença amb un retrocés respecte a 1956, que respon de forma directa a la minva de sediments produïda per l'acció antròpica als rius (embassaments i extracció d'àrids) i a la costa (espigons), però que probablement també respon a causes indirectes naturals (canvis climàtic-hidrològics, SEGURA-BELTRAN i SANCHIS-IBOR, 2013), alteracions antròpiques del sistema fluvial (canvis d'usos del sol de la conca, GARÓFANO-GÓMEZ, *et al.*, 2013) o del litoral (port de Castelló i espigons, PARDO, 1991). El resultat és un dèficit hidrosedimentari que es trasllada al sistema litoral on s'alternen fases de pèrdua important del ventall deltaic –associats als temporals– amb fases de guanys –associats als escassos períodes de fortes revingudes–, la qual cosa trastoca l'evolució del ventall deltaic. Així, uns ventalls que haurien d'estar dominats pels processos fluvials –atès que es tracta de rius d'alta energia, una costa

micromareal i un onatge poc important– acaben dominats pels processos marins, tal i com ocorre també al delta del riu Vélez (SENCIALES i MÁLVAREZ, 2003).

Els resultats d'aquest treball posen de manifest els mecanismes de construcció d'un ventall deltaic, amb unes formes efímeres i de transició que interfereixen entre elles i finalment fan evolucionar la desembocadura. Tanmateix, el canvi global que afecta les conques de drenatge i el litoral està afectant la construcció d'aquestes formes. En un futur caldrà analitzar altres casos per veure si es tracta de fenòmens globals o locals i si els processos són generals o específics de cada cas.

Agraïments

Aquest treball està finançat pel projecte CGL2017-86839-C3-1-R del MINECO i ha estat finançat per fons FEDER. Puertos del Estado ha facilitat les dades del punt SIMAR 2085119.

Bibliografia

- AMORES, A., MARCOS, M., CARRIÓ, D.S. i GÓMEZ-PUJOL, L. (2020): Coastal impacts of Storm Gloria (January 2020) over the north-western Mediterranean. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(7): 1955-1968.
- BATALLA, R.J., 2003. Sediment deficit in rivers caused by dams and instream gravel mining. A review with examples from NE Spain. *Cuaternario y Geomorfología*, 2003, 17 (2): 79-91.
- CONESA GARCÍA, C. i PÉREZ CUTILLAS, P. (2014): Alteraciones geomorfológicas recientes en los sistemas fluviales mediterráneos de la Península Ibérica: Síntomas y problemas de incisión en los cauces. *Revista de Geografía Norte Grande*, (59): 25-44.
- GARÓFANO-GÓMEZ, V., MARTÍNEZ-CAPEL, F., BERTOLDI, W., GURNELL, A., ESTORNELL, J. i SEGURA-BELTRAN, F. (2013): Six decades of changes in the riparian corridor of a Mediterranean river: a synthetic analysis based on historical data sources. *Ecohydrology*, 6(4): 536-553.
- GUERRERO, Q. i GUILLÉN, J. (2020): Dynamics of ripples superimposed on a sand ridge on a tideless shoreface. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 242: 106826.
- LEATHERMAN, S.P. i ZAREMBA, R.E. (1987): Overwash and aeolian processes on a US northeast coast barrier. *Sedimentary Geology*, 52 (3-4): 183-206.
- MATEU BELLÉS, J.F. (1982): El Norte del País Valenciano: geomorfología litoral y prelitoral. Universidad de Valencia. Sección de Geografía. València. 286 pp.
- MENDOZA, E.T. i JIMENEZ, J.A. (2008): Coastal storm classification on the Catalan littoral (NW Mediterranean). *Ingeniería hidráulica en México*, 23(2): 21-32.
- MORALES, J.A., BORREGO, J. i BALLESTA, M. (2004): Influence of harbour constructions on morphosedimentary changes in the Tinto-Odiel estuary mouth (south-west Spain). *Environmental Geology*, 46(2): 151-164.
- MORALES, J.A., CANTANO, M., RODRÍGUEZ-RAMÍREZ, A. i BANDA, R.M. (2006): Mapping geomorphology and active processes on the coast of Huelva (Southwestern Spain). *Journal of Coastal Research*, 48: 89-99.
- PARDO-PASCUAL, J.E. (1991): La erosión antrópica en el litoral valenciano. Generalitat Valenciana. Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transports. València. 240 pp.
- PARDO-PASCUAL, J. E. (2021): El futur de les platges valencianes. Un repte ineludible. Mètode, Universitat de València.
- PARDO-PASCUAL, J.E., ALMONACID-CABALLER, J., RUIZ, L.A., PALOMAR-VÁZQUEZ, J. i RODRIGO-ALEMANY, R., (2014): Evaluation of storm impact on sandy beaches of the Gulf of Valencia using Landsat imagery series. *Geomorphology*, 214: 388-401.
- PARDO PASCUAL, J.E., ROCA, R. i SEGURA BELTRÁN, F. (2019): Análisis de la evolución de la línea de costa entre Alcossebre y Oropesa a partir de la fotografía aérea (1956-2015). *Cuadernos de Geografía*, 102: 39-72.
- PÉREZ CUEVA, A.J. (coord.) (1994): *Atlas climático de la Comunidad Valenciana (1961-1990)*. Direcció General d'Urbanisme i Ordenació del Territori. Conselleria de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio.
- POULOS, S.E. i COLLINS, M.B. (2002): Fluvial sediment fluxes to the Mediterranean Sea: a quantitative approach and the influence of dams. *Geological Society, London, Special Publications*, 191(1): 227-245.

- PRECISO, E., SALEMI, E. i BILLI, P. (2012): Land use changes, torrent control works and sediment mining: effects on channel morphology and sediment flux, case study of the Reno River (Northern Italy). *Hydrological Processes*, 26(8): 1134-1148.
- RINALDI, M., WYŻGA, B. i SURIAN, N. (2005): Sediment mining in alluvial channels: physical effects and management perspectives. *River research and applications*, 21(7): 805-828.
- SANCHIS-IBOR, C., SEGURA-BELTRAN, F. i ALMONACID-CABALLER, J. (2017): Channel forms recovery in an ephemeral river after gravel mining (Palancia River, Eastern Spain). *Catena*, 158: 357-370.
- SANCHIS-IBOR, C., SEGURA-BELTRAN, F. i NAVARRO-GÓMEZ, A. (2018): Channel forms and vegetation adjustment to damming in a Mediterranean gravel-bed river (Serpis River, Spain). *River Research and Applications*, 35(1), pp. 37-47.
- SANCHO-GARCÍA, A., GUILLÉN, J., GRACIA, V., RODRÍGUEZ-GÓMEZ, A.C. i RUBIO-NICOLÁS, B. (2021): The Use of News Information Published in Newspapers to Estimate the Impact of Coastal Storms at a Regional Scale. *Journal of Marine Science and Engineering*, 9(5): 497.
- SANJAUME SAUMELL, E. (1985): *Las costas valencianas : sedimentología y morfología*, Universidad de Valencia, Sección de Geografía. 505 pp.
- SANJAUME, E., SEGURA, F. i PARDO, J. (1990): Procesos y formas en una restinga en retroceso: el caso de la albufera de Torreblanca. In GUTÉRREZ-ELORZA, M., PEÑA-MONNÉ, L. i LOZANO, V.M. (eds). *Actas 1ª Reunión Nacional de Geomorfología*, Teruel 12-17 septiembre 1990: 375-384. Universidad de Zaragoza – Sociedad Española de Geomorfología, Zaragoza.
- SEGURA BELTRAN, F. (1990): *Las ramblas valencianas*. Universitat de València, Departament de Geografia. València. 229 pp.
- SEGURA, F. (2004): Cambios hidrológicos en las ramblas y barrancos del Golfo de Valencia a lo largo del siglo XX. *Alteración de los regímenes fluviales peninsulares*. Fundación Caja Murcia, Murcia, cf. pp. 349-389.
- SEGURA-BELTRAN, F. i SANCHIS-IBOR, C. (2013): Assessment of channel changes in a Mediterranean ephemeral stream since the early twentieth century. The Rambla de Cervera, eastern Spain. *Geomorphology*, 201: 199-214.
- SEGURA-BELTRAN, F. i PARDO-PASCUAL, J.E. (2019): Fan deltas and floodplains in valencian coastal plains. In: MORALES, J. (ed.). *The Spanish Coastal Systems*: 489-516. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-93169-2_21.
- SENCIALES, J.M. i MALVÁREZ, G. (2003): La desembocadura del río Vélez (provincia de Málaga, España). Evolución reciente de un delta de comportamiento mediterráneo. *Revista Cuaternario y Geomorfología*, 17(1-2): 47-61.
- SEPÚLVEDA, E., SANCHIS, C. i SEGURA, F.S. (2018): Cambios morfológicos en el cauce del riu Millars (1945-2012). In: CARMONA, P., SALOM, J., LÓPEZ, M.J. i ALBERTOS, J.M. (coords.), *Tecnologías de la información geográfica: perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento*: 297-305. Universitat de València, València.
- SURIAN, N. i RINALDI, M. (2003): Morphological response to river engineering and management in alluvial channels in Italy. *Geomorphology*, 50(4): 307-326.

WEBS

CEDEX: <https://ceh.cedex.es/anuarioaforos/default.asp>. Recuperat 7/5/2021.

SIA (Sistema d'informació automàtica de la Confederació Hidrogràfica del Xuquer): <https://aps.chi.es/siajucar/>. Recuperat 7/5/2021.

MITECO: <https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/ecocartografias/default.aspx>. Recuperat 6/6/2021

PUERTOS DEL ESTADO: <http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>. Recuperat 8/6/2021.

Data recepció: 09.06.21

Data revisió: 25.06.21

Revisió acceptada: 15.07.21