2. MATERIAL I MÈTODE

2.1 Descripció geogràfica de la costa de Barcelona

El desenvolupament de la Tesina es centra en l'àmbit geogràfic de la ciutat de Barcelona, abraçant des de la desembocadura del riu Besòs fins al delta del Llobregat. Així englobem els termes municipals de Sant Adrià del Besòs, Barcelona i el Prat de Llobregat. Dins trobem primerament el port de Sant Adrià del Besòs, més conegut com a Fòrum de les Cultures, més endavant, la Vila Olímpica, la Barceloneta, el Port de Barcelona i finalment la nova zona ZAL del Port de Barcelona. L'àrea d'estudi queda acotada per, aigües amunt, el riu Besòs (41º25'N 2.14'E) i, aigües avall, el riu Llobregat (41º19'N 2º08'E). Aquesta queda ben definida per la figura 2.1.

Tota aquesta zona ha estat molt afectada per la presencia de l'home al llarg dels anys. Aquesta presencia i tota l'activitat humana que representa ha modificat les condicions marítimes de la costa, així com tots els mecanismes de transport de sediments, corrents, efectes barreres i altres elements morfodinàmics presents a la zona.

El principal element modificador de l'entorn ha estat el port de Barcelona, el seu creixement i la seva evolució, i la manera en com ha acabat reemplaçant l'efecte barrera que representava la muntanya de Montjuïc. Per això se li ha reservat espai principal dins d'aquest apartat. Tot i això, el port de Barcelona, no ha estat la única modificació de les condicions inicials que l'home ha transformat.

Figura 2.1 : Zona d'estudi, Marc Geogràfic.

La col·locació de preses al transcurs del riu Llobregat i Besos ha modificat en gran mesura l'aportació sedimentaria, reduint-ne la influencia dins de la dinàmica de la zona que estem tractant. Així mateix la canalització d'aquestes lleres naturals també ha modificat les seves desembocadures, i la manera com aquestes distribuïen els sediments al llarg de la línia de costa.

Trobaríem en aquest entorn també, aigües amunt del riu Besos l'aparició del port de Badalona. Aquest element tot i que molt menys destacable en que efecte barrera per el transport de sediment que no pas el port de Barcelona, també ha contribuït de manera destacable a modificar les condicions de contorn a la zona d'estudi. En el mateix sentit, la

transformació per part de l'home del delta del Llobregat aigües avall, ha afectat tots els mecanismes de transport sedimentari restringits en aquella zona. Finalment trobaríem tota una sèrie d'elements que han anat sorgint a la costa del barcelonès, com ara espigons, reformes de la línia de costa com ara la Vila Olímpica l'any 1992 o el més recent Fòrum de les Cultures, que també han modificat morfològicament l'aparença de la línia de costa del tram d'estudi.

2.1.2 Historia del Port de Barcelona

L'any 1903 es va trobar una làpida, prop on avui està el cementiri de Montjuïc, que commemora que Caius Coelius havia ordenat aixecar murs i portes per a fortificar aquest recinte portuari, amb provades intencions defensives.

Barcelona va iniciar el seu emmurallament durant les primeres invasions dels bàrbars, en l'any 263. Des de llavors la ciutat creix en importància i paral·lelament, es multipliquen les seves al·lusions al Port, que continua situat en aquella època, al Sud de la muntanya de Montjuïc.

La ciutat es converteix en la indiscutible capital marítima dels Reis d'Aragó entre els anys 1164 i 1285, durant els regnats d'Alfons II, Pere II, Jaume I. Amb Pere III sorgeix el projecte d'instal·lar una "Atarazana Real", les famoses Drassanes, que encara avui tots coneixem. La data no és segura, però si és cert, que en l'any 1378 la Ciutat de Barcelona demana a Pere IV que reprengui unes obres portuàries iniciades per Pere III, que els temporals havien interromput. Llavors, ja s'utilitzava de forma general com lloc de fondeig la zona compresa entre les Drassanes i la Ciutat, degut al fet que l'antic port situat al Sud de Montjuïc s'havia omplert de sorres,degut de l'avanç del riu i el seu delta, cosa que va fer perdre eficàcia aquell lloc com zona de resguard marítim, per falta de calat.

La feble protecció que oferia l'ancoratge de Barcelona davant els terribles temporals de Llevant, als vaixells ancorats en aquella rada, va produir innombrables naufragis al llarg dels segles X al XII. Els barcelonins van decidir unir esforços per a poder construir un port artificial més segur, que afavorís i facilités les operacions comercials de càrrega i descàrrega, i desenvolupés el comerç marítim que exigiria la Ciutat.

Aquest somni, de tenir un port segur, que en aquesta part del litoral català significava disposar d'un port artificial, no es va començar a insinuar fins al 8 de desembre de 1438: el rei Alfons V el Magnànim, va atorgar als consellers de la Ciutat de Barcelona, el privilegi de construir un port i els seus molls, de la forma i en el lloc on ells triessin.

No va passar un any, perquè s'iniciessin les obres de construcció del moll, però una dècada més tard, els temporals soferts en la costa, ja havien destrossat tots els treballs realitzats en la seva execució.

Va ser el 20 de setembre de 1477 quan, sota el regnat del rei Joan II, es va col·locar la primera pedra d'un moll que tindria vocació de ser definitiu i que va arribar una longitud 103 metres de llarg, arribant fins a illa de sorra de Maians, davant d'on avui està situat el Govern Civil. Aquest moll es va batejar amb el nom de la Santa Creu, i amb el pas del temps es va conèixer amb el moll Vell, i constitueix el germen de l'autèntic port exterior i artificial de Barcelona, on es van aliar els homes i la ciutat en la seva lluita contra els elements per a fructificar en un port útil.

L'obra bàsica de resguard portuari va ser el dic del Est, i a partir de la illa de Maians es va expandir progressivament cap al Sud i cap al Sud-oest. Paral·lelament, les sorres transportades pel mar, s'acumulaven en quantitats importants a la platja situada a l'est d'aquesta obra, dipositant material d'al·luvió procedents del riu Besos. El barri de la Barceloneta es va cimentar precisament sobre aquests terrenys propers al mar i la gent del mar i els pescadors són el que històricament l'han habitat.

Les ampliacions no es paralitzen. En l'any 1723 el dic de l'Est s'estenia fins a d'actual moll dels Pescadors i en el 1772, regnant Carlos III, s'aixeca la torre Llanterna, convertida avui en Rellotge.

Sigui com fora, al port encara li faltava calat. En l'any 1743 la sorra havia format una barra, que s'estenia des de l'extrem del dic de l'Est fins a la torre de les Puces (on avui aquesta situada la Porta de la Pau i el monument a Colón). Aquesta circumstància va obligar a tancar el port per a la navegació. La solució al problema de falta de calat no se supera fins a l'any 1816, amb la prolongació de l'escullera, que l'any 1882 va arribar fins a on avui està el Dic Flotant. Encara faltaria superar un altre escull, la formació d'una nova barra de sorra, reacció marítima natural sorgida pel canvi de corrents, que es va solucionar amb la prolongació del dic de l'est i la construcció d'un contradic. Resultat d'això és que es delimita una nova bocana del port, que queda definida entre l'extrem del dic del Est i un nou moll, que parteix del litoral, al peu de la muntanya de Montjuïc, on avui està el moll de Ponent.

Les entitats de Barcelona van aprofitar el Reial decret del 14 d'octubre de 1868 sobre Obres Públiques, per a seguir millorant el nostre Port. Van sol·licitar la constitució d'una Junta amb l'objectiu de finalitzar les obres de millora i dragatge el port. Un nou triomf: el Ministeri de Foment, per Decret de 11 de desembre de 1868, dóna el l'aprovació i la primera sessió de la Junta té lloc el 6 de febrer de 1869.

Amb les progressives millores, quedava per fi, construït un veritable i efectiu port exterior, lliure de les acumulacions de terres i sorres i una superfície d'aigües protegides d'unes 110 hectàrees. Entre els anys 1877 i 1882 es va construir el primer moll transversal, on avui està el moll de Barcelona.

Les obres continuaven sense descans. L'any 1926 va finalitzar una nova prolongació del dic de l'Est i l'any 1958 s'inicia l'expansió cap al Sud. Durant 1912 i 1962 es construeixen nous contradics, a mesura que avança el port cap al Sud-oest. En l'any 1968 el port exterior tenia una superfície d'aigües protegides de prop de 500 hectàrees.

L'avanç del Port de Nord-Est a Sud-Oest li fa ultrapassar la muntanya de Montjuïc. L'any 1966 s'inicia la construcció d'un port interior. En el Delta del Llobregat. Es draga la zona i s'afegeixen 250 hectàrees noves al recinte portuari. Dos mil anys després, l'activitat comercial del port de Barcelona torna al seu primitiu emplaçament: a l'oest de la muntanya de Montjuïc.

2.2 Dades Disponibles

Per la realització d'aquest estudi s'ha recopilat bàsicament informació relativa a la línia de costa de la zona compresa entre el riu Besòs i el riu Llobregat. Aquesta informació es pot dividir en tres categories:

- Vols aeris
- Gravats i atlas històrics
- Plànols de la zona

2.2.1 Vols Aeris

Pel que fa al primer punt, disposem de vols aeris des de l'any 1947 fins a l'actualitat. Aquests es troben en una gran varietat d'escales (1:8000 fins a 1:60000). El fet de tenir-los en suport informàtic i de donar-nos una gran resolució, ens faciliten molt la feina previa al tractament de les dades.

Pel que fa als altres dos tipus d'informació de que disposem, aquesta ja és mes difícil de tractar. Tota aquesta informació podria estar englobada dins d'un mateix denominador comú, *informació històrica*, tot i així s'ha decidit de separar-la en dues categories ja que mentre els plànols en tenir escales i més exactitud són més senzills de referenciar, els gravats i atlas històrics deixen molt mes marge per l'error.

2.2.2 Gravats i atlas històrics.

Aquest material ha estat extret bàsicament del fons que disposa el Museu Marítim de Barcelona. D'aquesta manera hem aconseguit gravats que van des de 1650 fins al 1800 aproximadament. La majoria d'aquests gravats només representen la ciutat de Barcelona i una mica els seus entorns. Per tant la informació antiga es centrarà bàsicament en aquesta zona geogràfica i a partir de la seva evolució s'intentarà extrapolar la evolució de la línia de costa colindant. Pressuposant la resposta del canvis orogràfics i de les actuacions humanes que es van anar portant a terme en aquestes zones.

Tenim un atlas “Atlas de Barcelona” Ramon Soley que es una recopilació de gravats de Barcelona des de 1572 fins a 1900.

A la taula 2.1 tenim detallats els gravats disponibles, no tots ells han estat aptes per a la seva posterior utilització com a material d’estudi, bé perquè la seva digitalització comportava massa grau d’error o perquè no aportaven dades creïbles dins el conjunt global d’informació.

Gravats			
Any	**Zona**	**Observacions**	
1697	Centrat al Port de Barcelona	Codi	17548
s XVII	Centrat al Port de Barcelona	Codi	17560
s XVII	Centrat al Port de Barcelona	Codi	8209
1704	Centrat al Port de Barcelona	Codi	5345
1727	Montjuic fins a Dunes de Sables	Codi	17561
1740	Centrat al Port de Barcelona	Codi	18200
1743	Centrat al Port de Barcelona	Codi	17549
1802	Centrat al Port de Barcelona	Codi	17545
s XVIII	Centrat al Port de Barcelona	Codi	3621
s XVIII	Centrat al Port de Barcelona	Codi	3520
s XVIII	Centrat al Port de Barcelona	Codi	17567
També tenim diversos gravats extrets de l'Ardiaca.		Codi:	
		30	Centrat al Port de Barcelona
		28	Centrat al Port de Barcelona
		25	Centrat al Port de Barcelona
		40	Centrat al Port de Barcelona
		52	Centrat al Port de Barcelona

Taula 2.1: Gravats històrics

Posteriorment també tenim la informació que ens poden oferir els atlas antics i les cartes nàutiques. Aquests abarquen temps més moderns que no pas els gravats. Tindríem una sèrie de cartes que van a partir de 1870 en endavant. El principal problema que presenten es que són massa generals i el detall que ofereixen de la zona d’estudi no es massa adient per l’objectiu de l’estudi.

2.2.3 Plànols de la zona.

Aquesta informació ha estat recopilada al Port de Barcelona i al Museu Marítim de Barcelona.

Primer de tot tenim tot allò inclòs a les memòries del port de Barcelona. Aquestes memòries que van des de 1901 fins a l'actualitat, són un recull de totes les activitats que han afectat al port així com un resum anual de la seva activitat. En elles podem trobar plànols de diverses escales que fan referència bàsicament a l'àmbit del port, tot i així també podem trobar en alguna de les memòries algun plànol que avarca més area. Cal destacar per davant de tot la memòria de l'any 1935. Aquesta a part de ser la mes extensa es la que mes informació ens dona ja que també inclou gravats antics, així com una descripció detallada del desenvolupament del port fins a l'època.

Un altre document important del que disposem es "Topografia antigua de Barcelona; Rodalía de Corbera".-Salvador Sanpere y Miquel de 1892. Aquest document, tot i que bàsicament centrat al barri de la ribera si que en dona la línia de costa del barri de la ribera des de 1209 fins al 1890. Tot i que es un text molt centrat al barri de la ribera si que el podríem usar per fer una extrapolació a tota la zona d'interès.

Al port de Barcelona disposen de tots els projectes que s'han realitzat en referència al port. Aquests son una bona font d'informació sobre els mecanismes de transport de sediment que l'afecten. Així fent un seguiment d'ells podrem veure com ha anat evolucionant aquest mecanisme al llarg del temps.

El primer projecte que conceben es l'anomenat projecte Rafo. Exactament es diu: "Proyecto para la mejora y ensanche del puerto de Barcelona". Aquí trobarem dos plànols molt interessants de la zona d'estudi.

A la taula 2.2 trobarem detallats tots els plànols que aporten les memòries del port de Barcelona.

Memòries del Port		
1901	Des del Riu Llobregat fins una mica després del moll de llevant	E:1:20000
1905	Des del Riu Llobregat fins una mica després del moll de llevant	E:1:20000
1910	Nomes inclou el port de Barcelona. Res de Costa	E 1:10000
1918	Port i una mica de costa a banda i banda	E 1:5000
1922	Nomes Port de Barcelona	E 1:5000
1935		**1. Croquis A**. Mostra tota la línia de la costa de tota la zona d'estudi incloent la línia de la costa del segle IV a.c.. **2. Croquis B**. Es un detall de la zona del port i part de platja cap a besos. **3. Gravats** de 1572, 1698 i 1700 de la zona d'estudi
1941	Port i una mica mes tirant cap a Montjuïc.	E 1:5000
1947	Port i una mica mes tirant cap a Montjuïc.	E 1:5000

Taula 2.2: Plànols inclosos a les memòries del port de barcelona.

Així mateix també s'ha disposat de dos plànols militars, que han estat corresponentment digitalitzats dels any 1935 i 1976.

Finalment, també s'ha trobat en un plànol de rieres de l'ajuntament de Barcelona, una línia de la costa del segle I d.c aconseguida a partir de restes arqueològiques i finals de camins, que també s'ha incorporat com a element essencial dintre de l'estudi.

2.2.4 Dades dels Estats del Mar

2.2.4.1 Clima mig

Per aconseguir un bon estudi de la evolució de la costa no només ens podem basar en informació bidimensional extreta de plànols i d'altres fonts anteriorment mencionades, sinó que l'evolució del litoral, tan l'erosió com la acreció de material, esta íntimament lligada a els estats del mar. Grans temporals poden arribar a modificar greument la morfologia d'una zona. Per això, i també per posteriorment poder donar una tassa de transport sedimentari correcte necessitarem conèixer amb exactitud els estats del mar, així com la seva correlació temporal, per així poder-ho relacionar amb les dades històriques de que disposem.

Com a clima mig agafarem les dades que es donen a la taula 2.3.

Sector		**Tm<4**	
	Hmorf	Tp	%
N	0.56	2.96	0.30
N30E	0.56	3.04	0.21
N60E	0.74	4.92	2.87
E	0.65	5.80	11.57
E30S	0.51	5.27	6.15
E60S	0.49	4.73	8.22
S	0.57	4.44	13.39
S30W	0.55	3.48	3.88
S60W	0.55	3.06	0.15
W	0.67	3.15	0.23
W30N	0.98	3.80	8.20
W60N	1.05	3.91	11.46

Taula 2.3: dades dels estats del mar.

2.2.4.2 Aportacions extraordinàries del riu Llobregat.

Quan parlem de evolució de la costa, generalment no es tenen en compte els elements extremals que poden fer variar puntualment, tot i que de manera dràstica, el perfil de la costa. Tot i això en el cas del estudi que s'està realitzant, si que s'han de tenir en compte ja que poden ser la principal causa de canvis bruscs de la fisonomia de la línia de la costa.

Per això s'han buscat els períodes de riuades i temporal més importants que han afectat la zona.

Riuades	
1143,1315,1402	Es te constància de grans riuades paro no el seu abast.
1617	4000m3/seg. baixaven pel riu Llobregat. La riuada més gran mai registrada.
1740	5790m3/seg. sembla ser que les dades per les quals es creu que aquesta va ser tan gran, no son totalment fiables. Probablement estigui sobreestimada.
1787,1797,1842,1850, 1853,1866	Es té constància de grans temporals paro no superiors a 2000m3/seg.
1898	Riuades d'entre 2000-2400m3/seg.
1901	Baixaven més de 2500m3/seg.
1907	Es van arribar als 3800m3/seg. a Martorell. La segona riuada més important de la història.
1913	Ultima riuada important a la zona 2470m3/seg.

Taula 2.4: Avingudes importants del riu Llobregat.

2.3 Metodologia

2.3.1 Tractament de les dades

Per començar a treballar en aquesta tesina, el primer que ha calgut fer ha estat digitalitzar els plànols que no estaven georeferenciats. Tot i que disposem de certa informació ja llesta per treballar-hi al damunt, la majoria del material necessita un pas previ al seu estudi.

Tal com s'ha dit anteriorment es disposa de tres tipus de dades, essencialment, fotografies aèries, plànols i gravats antics. A priori la única informació de la que es disposava llesta per ser utilitzada eren els dos últims vols aeris, proporcionats per l'ICC, ja que les ortofotos ja venen en un format ja georeferenciat (.geotif). La resta de material s'ha hagut de digitalitzar per el seu posterior estudi.

Per digitalitzar els plànols s'ha usat una tauleta digitalitzadora Aquests mètode és un mètode senzill que passa un plànol de paper a suport informàtic dotant els seus punts de coordenades UTM per poder posteriorment treballar amb ell de manera coherent. Així doncs el primer que hem de aconseguir és identificar dos punts, com a mínim, sobre el plànol tractat dels que sapiguem amb certesa les coordenades UTM. Així, aquests dos punts ens serviran de base per ubicar espacialment el plànol. Posteriorment amb aquests dos punts com a referència, el programa de digitalització ja coneixerà la escala sobre la que treballem i així només caldrà anar introduint la resta de punts per poder tenir el plànol passat a suport informàtic.

En el cas que la informació de que disposem ja estigui en suport informàtic, tan sigui en format jpg com en qualsevol altre, el procediment de digitalització serà totalment diferent. En aquest cas tindrem dos tipus d'informació, per una banda els gravats històrics i de l'altra les fotografies aèries. Per tots dos tipus de informació treballarem de la mateixa manera. Primer de tot necessitarem una base cartogràfica ben referenciada de la zona d'estudi. Un cop aconseguida del que es tracta es de superposar les nostres imatges sobre aquesta base. Desprès amb l'ajuda d'algun programa tipus CAD centrarem un punt, ja sigui un far, una cantonada de la muralla de Montjuïc o qualsevol altre lloc que sigui fàcil d'ubicar. Finalment amb un dels punts ubicats, intentarem enquadrar-ne un

altre jugant amb l'escala de la imatge i la seva col·locació. Així ja el tindrem ben centrat en coordenades UTM. Posteriorment el que haurem de fer serà treure la línia de costa en coordenades UTM per poder treballar amb ella, que es en definitiva el nostre objectiu. Aquest mètode és un mètode lligat a bastant error de representació i per dir-ho d'alguna manera bastant subjectiu.

Una vegada la línia de costa per a diverses dates ha estat identificada, el mesurament dels canvis exigeix l'establiment d'un procediment metodològic que permeti la seva comparança i mesurament geomètric. Aquest simple procediment de comparació no és un tema banal quan la línia de costa s'ha extret de documents o amb instrumental tècnic que posseeixen la seva pròpia geometria, derivada d'un sistema de projecció per a la cartografia, de la perspectiva cònica per a la fotografia. Els procediments metodològics per a passar d'un sistema de referència geomètric a un altre estan perfectament definits, però fins a molt recentment estaven lligats a tediosos procediments òptic/mecànics i laboriosos càlculs matemàtics. La forma més simple de solucionar aquest problema, en les primeres aplicacions, ha estat establir una sèrie d'elements fàcilment recognoscibles en les fonts d'informació i, després de l'establiment de l'escala dels documents, amidar la distància entre aquests elements i les línies de costa seleccionades. La debilitat d'aquest mètode es revela en diversos punts: (i) l'existència d'aquests elements recognoscibles, de vegades difícils de trobar i, quan existeixen, pot ser que la seva distribució espacial no s'adapti adequadament a l'extensió de la zona d'estudi (concentració en alguns sectors i absència en altres); (ii) el concepte d'escala no és homogeni en un document cartogràfic (depèn de centre de projecció) ni en la fotografia aèria (depèn de l'altura) i (iii) el caràcter discontinu i puntual de les mesures. La incorporació de l'electrònica i la informàtica en les tècniques cartogràfiques, la restitució fotogramètrica, el tractament digital d'imatges i els SIGs, ha posat en les nostres mans un conjunt d'eines informàtiques que permeten de forma bastant precisa passar qualsevol d'aquests documents a un sistema de referència comuna. Bàsicament, quan es tracta d'un document cartogràfic o dades basades en un sistema de projecció, existeixen procediments de correcció geomètrica utilitzant punts de control homòlegs (rectificació geomètrica), obtenint-ne resultats més precisos amb l'ajuda de models digitals d'elevacions (MDEs). En el cas de la fotografia aèria, la restitució fotogramètrica permet corregir les deformacions inherents a la perspectiva cònica fotogràfica, errors que no soluciona el procediment anterior. El propi procés de restitució ha passat de ser analògic a analític, per a finalment ser totalment digital en els nostres dies, amb la qual cosa resulta bastant assequible obtenir línies de costa en un sistema de projecció determinat a partir de parells estereoscòpics o, fins i tot, s'ha abaratit

espectacularment la possibilitat de generar ortofotos per procediments digitals. Una vegada totes les línies de costa passades comparteixen un mateix sistema de referència geomètric (per exemple projecció UTM, amb coordenades per al mateix Fus), només és necessari un instrumental per a amidar la distància lineal entre cada parell de línies de costa successives.

Un cop tota la informació ha estat tractada pel seu estudi, es començarà a treballar amb ella. El primer que s'ha de concretar és una evolució de la línia de costa al llarg dels anys. Aquesta evolució es veurà reflectida per les dades de les diverses línies de costa que haurem entrat. Un cop tinguem tota aquesta informació el que s'haurà de fer serà un balanç sedimentari.

Avui dia aquest mesurament és realment fàcil de fer amb qualsevol dels programes informàtics de disseny gràfic (CAD), cartografia automàtica, tractament digital d'imatges o GISs. No obstant això, el fet que tradicionalment aquestes taxes d'erosió s'expressin en metres/any, exigeix que aquestes mesures siguin puntuals, pel que se selecciona un nombre de punts representatius i es realitzen els mesuraments corresponents. Un aspecte especialment sensible en aquesta metodologia és el nombre de punts, la seva distribució geogràfica i la diferència cronològica entre dues línies successives, en el nostre cas la separació de les transects i els punts de control es pot observar a la figura 3 Respecte al nombre de punts, sembla obvi que com més nombrosos siguin millor, però la distància entre ells és també molt important per a recollir la variabilitat espacial dels processos erosius en la costa. Un mètode utilitzat és dividir la costa en trams longitudinals amb característiques morfodinámiques semblants i seleccionar diversos punts representatius per a cadascun d'ells. Aquest mètode és paradoxalment bastant efectiu quan la diferència entre dates és de diversos anys o dècades, ja que aquest període temporal filtra gran part de la variabilitat espacial de l'erosió, si la línia de costa triada permet esbiaixar l'efecte dels canvis estacionals i esdeveniments extraordinaris (línia de contacte foredune/backshore, per exemple). No obstant això, quan les dates són molt pròximes cal extremar les precaucions, ja que al tractar-se de mesures puntuals, si la seva distribució espacial no és molt densa pot veure's molt afectada per processos erosives de caràcter local. És a dir, encara que a llarg/mig termini, les costes erosives retrocedeixen/creixen de forma mes o menys homogènia, a escales temporals curtes els processos erosius/d'acreció es poden veure molt influenciats per fenòmens locals que «enfoquin» l'onatge en alguns sectors específics o per la presència de formes rítmiques i

mòbils (*megacusps*, ondulacions longitudinals) i, per tant, les mesures poden ser substancialment diferents a escasses distàncies.

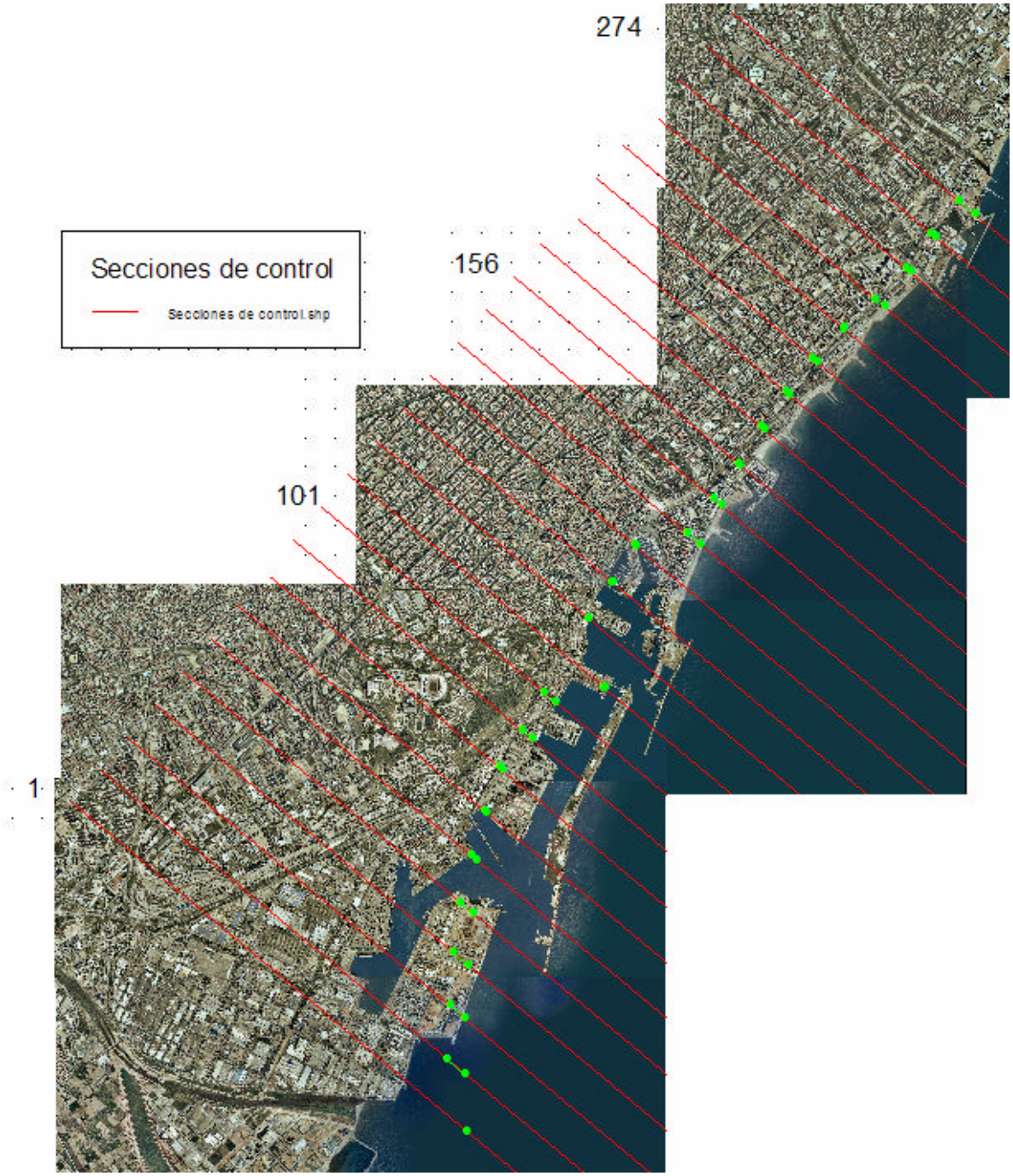


Figura 2.3: Representació de les seccions i els punts de control de dues línies de la costa successives d'anys 1888-1897

Això fa que en les costes espanyoles sigui aconsellable obtenir les dades (topogràfics, GPS o fotografia aèria) en una situació estival, ja que la costa ha pogut restablir el seu equilibri després dels fenòmens extrems típics de l'etapa hivernal (temporals, storm surges, etc.).

Una vegada realitzades els mesuraments és necessari extreure una taxa d'erosió mitja. Una tècnica simple és utilitzar exclusivament la primera i última data per a calcular la taxa amb aquests dos únics punts de referència mitjançant la divisió de la distància entre les dues dates pel nombre d'anys. Tindria al seu favor el major recorregut temporal i expressaria la informació dels canvis a llarg termini. És una tècnica útil i simple, sempre que en aquest tram costaner no s'hagin introduït canvis substancials, sobretot de caràcter antròpic, que hagin modificat el seu comportament dinàmic, (en el cas que ens trobem ha estat tan antropitzat l'entorn que s'hauran de tractar les dades molt amb comte respecte al creixement del port de Barcelona i tot el Municipi en general). Si això ha ocorregut és aconsellable dividir en dos períodes les taxes (abans i després), sempre que existeixi informació disponible. L'inconvenient és que menyspreem la informació de les línies de costa intermèdies en el cas que tinguem vàries, i, per tant, podem desestimar la presència de tendències.

Un mètode més sofisticat és utilitzar per a cada punt totes els mesuraments entre les dates disponibles i ajustar a elles una recta, mitjançant una anàlisi de regressió lineal. Aquest mètode té l'avantatge d'utilitzar tota la informació disponible, i permet revelar l'existència d'una tendència enfront de l'acceptació que el comportament de l'erosió és homogeni al llarg del tot el període. Per altra banda, la tècnica d'anàlisi és fàcil d'usar i susceptible de ser avaluada per nombrosos tests estadístics. Si en el tram analitzat trobem una alteració antròpica com la comentada anteriorment, se sol realitzar l'anàlisi de regressió amb dos grups de dades (els anteriors i els posteriors a la data de l'alteració antròpica). Al costat d'aquesta forma d'expressar les taxes d'erosió (mesures puntuals expressades en metres/any), la possibilitat de disposar de noves fonts d'informació i l'abaratiment dels programes per a la seva manipulació informàtica ha conduït a l'expressió de les taxes d'erosió en unitats diferents. Bàsicament com canvis superficials (m2/any/metre de costa) i com canvis volumètrics (m3/any/metre de costa). En el primer cas (canvis superficials), la metodologia exigeix una font d'informació que permeti reconstruir les línies de costa i tractar-les com una línia (no com mesures puntuals) i per a això les fonts d'informació més utilitzades són la cartografia, la fotografia aèria, la teledetecció i, de forma menor, els aixecaments topogràfics (estació total o GPS). Els més utilitzats, sens dubte, són els dos primers ja que tenen un major recorregut temporal retrospectiu.

Després de la comparança de dues línies de costa és fàcil convertir l'espai erosionat o acumulat en un polígon i extreure la seva superfície per a l'elaboració de les taxes. Els avantatges d'aquest enfocament metodològic són vàries. La primera és que de forma

gairebé automàtica es poden intersecar amb línies transversals a la costa (amb una equidistància a triar per d'investigador) i extreure les mesures puntuals per a aplicar el mètode anterior. La segona és la major precisió dels mesuraments, la no pèrdua de continuïtat espacial i el valor implícit en les dades de superfície. Finalment, aquesta tècnica permet delimitar amb major precisió on comencen i acaben els trams erosius Però sens dubte, atès que l'erosió costanera és en definitiva un procés tridimensional (pèrdua de sediments on la reculada lineal no és més que una de les seves expressions), l'avaluació més precisa dels seus efectes morfométrics seria el quantificar el volum erosionat i expressar-lo en una taxa volumètrica (m3/any/metre de costa).

Per aconseguir passar les dades de les que es disposen en dues dimensions a un balanç sedimentari tridimensional, són necessàries a més a més dades del nivell mig del mar (NMM), i dels diferents estats del mar a la zona de l'estudi.

2.3.2 Tractament de l'error.

Per tal de tenir una primera impressió sobre la fiabilitat del mètode d'ARCGIS utilitzat, es van iniciar els càlculs utilitzant seccions de control separades dues longituds diferents, 50 y 250 m respectivament, per trobar la robustesa del mètode, i poder comprovar quin dels dos espaiaments era més efectiu.

Un cop realitzats els càlculs, es van obtenir els resultats que podem trobar a l'annex i que venen representats de manera abreujada a la taula 2.5.

	BALANÇ CADA 250M (m3/any)				BALANÇ CADA 50 M (m3/any)			
	zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4
sIV a.c sI	-27682	4501	3079	7878	-25553	4301	3798	9616
sI 1477		232	221			149	257	
1477 1590		360	132			299	189	
1590 1602		21543	21361			19856	24565	
1602 1616		23320	21627			9740	33700	
1616 1690		-1024	187			4110	190	
1690 1720		30369	20123			34854	35123	
1720 1750		9858	4012			16511	4711	
1720 1806			4019				5760	
1806 1859			2899				925	
1897 1901	-1082494		74480		-1147826		66514	
1901 1935	-125254		4776		-143990		18295	
1935 1976			-8938	-31067			-13717	-27334
1976 2003			19364	82977			8131	94732

Taula 2.5: Balanç per diferents espaiaments de les seccions de control

Veiem a la taula anterior que la diferencia que suposa una separació o l'altre no introdueix grans variacions en els càlculs de volum posteriors. Com que treballem a escala macroscòpica, aquestes diferències de volum no ens porten a adoptar ambdues separacions com a bones i per tant es pot considerar que les zones destriades per a fer l'anàlisi són suficientment homogènies per que sigui possible la utilització de la separació de 50m com a única necessària degut al caire macroscòpic que té l'anàlisi portat a terme..

Un altre punt a tractar ve donat per què les dades que s'estan fent servir com a font d'informació ja porten inclòs un error. Tal i com s'ha explicat en el punt 2.3.1 anterior, el mateix fet de digitalitzar molts dels gravats disponibles en format jpg també incorpora un

alt grau d'incertesa. A més s'ha de tenir en compte el factor que com més allunyats estiguem d'elements fàcilment referenciables com per exemple el port de Barcelona els errors creixen.

A partir de diverses digitalitzacions i cert resultats incoherents hem descobert que les dades històriques duien un error inherent que s'ha intentat representar a la gràfica 1 L'error vindria representat per una funció exponencial modificada segons la següent expressió:

$$Error(x) = e^{(\frac{x}{1000})} + \frac{x}{1000}$$

on x és la distància al port de Barcelona.

El grau d'incertesa s'ha intentat expressar en funció d'una única variable, en el nostre cas la distancia al port, per tal de poder resoldre l'anàlisi de les dades amb una major fiabilitat.

Aquest creixement que podria arribar a ser d'uns $\pm 10m$ a les zones de les desembocadures tant de Besòs com de Llobregat ha estat representat a la figura 2.4

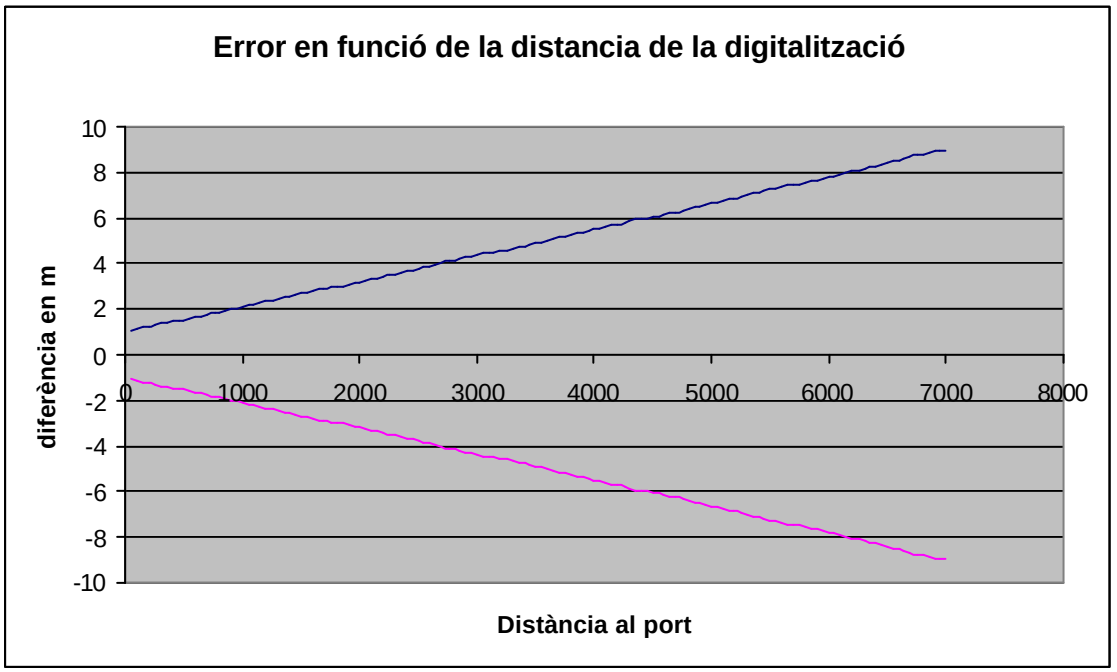


Figura 2.4 :Representació de l'error de digitalització en funció de la distància del port de Barcelona

Per aquesta raó s’hauran de tractar amb compte i més com a tendència que com a dades completament fiables els resultats d’avanç i retrocés de la línia de la costa descrits anteriorment.

2.3.3 Càlculs volumètrics.

Un cop realitzat tot el tractament de les dades, per tancar el capítol de metodologia s'ha de definir quin ha estat el mètode utilitzar per utilitzar les dades que proporciona l'ARCGIS i la seva extensió DSAS.

Un cop disposem dels avanços/retrocessos de la línia de la costa, per tal de poder donar una valoració volumètrica i posteriorment establir algun model de balanç sedimentari a la zona, necessitem fer una transformació de m/any cap a m^3/any.

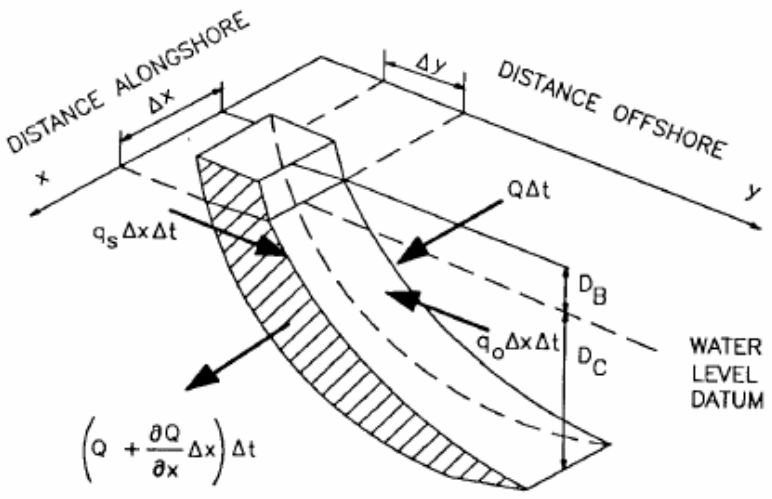


Figura 2.5: Representació esquemàtica d'una platja en un model lineal

Segons l'esquema anterior i sabent que farem servir una berma de 1m i una profunditat activa de 7m, el volum entre dos seccions de control quedarà definit per les següent formules:

$$V_{pc-1} = \frac{1}{2}\Delta x(B + dc)$$

$$\Delta V_{pc1-pc2} = \frac{V_{pc-1} + V_{pc-2}}{2} \cdot L_{2-1}$$

On Δx correspon a l'avanç o retrocés de la línia de la costa, B a la berma, dc a la profunditat activa i $L_{2\text{-}1}$ a la distancia entre els dos punts de control.

2.3.4 LONGMOR Model

Després de realitzar tots els processos necessaris per a poder extreure un bon anàlisi de com ha anat evolucionant el litoral barceloní al llarg de tota la seva història, s'ha decidit provar un model matemàtic que fos capaç de simular a grans trets el que hagués estat la evolució sense l'aparició dels elements humans que van alterar la dinàmica natural de la costa.

Aquest model anomenat LONGMOR extret a partir de VAN RIJN L.C. 1998, Principle of coastal morphology. Aqua publications. Amsterdam, és un model molt simple que a partir d'unes dades d'onatge definides i d'un criteri de transport longitudinal, identifica i reprodueix els efectes barrera (amb o sense bypass) que es produeixen a l'entorn que se li introdueix.

El model pot utilitzar diverses formules de transport sedimentari transversal, la del CERC, la de Kamphuis i la de Van Rijn, per tal de simplificar els càlculs i els resultats obtinguts s'ha decidit usar exclusivament la formula del CERC que ve donada per la següent expressió:

$$Q = K \cdot Plb$$

on: $Plb = \frac{1}{8} rgHb^2 \sqrt{gh_b} \cdot \frac{1}{2} Sin(2a_b)$

i $K = \frac{K_{CERC}}{(r_s - r)g(1-p)}$

Les ones d'aigües profundes son transformades a aigües someres a partir de les lleis de refracció i shoaling sabent que:

$$Hb = KrKsH0$$

on suposant una batimetria que varia gradualment:

$$Kr = (\frac{\cos a_0}{\cos a_b})^{0.5} \text{ i } Ks = (\frac{n_0 c_0}{n_b c_b})^{0.5}$$

on c=velocitat de propagació de l'ona

n=coefficient

Per tenir la profunditat de trencament utilitzarem la formula de Van Rijn (1990):

$$h_b = \left(\frac{(H_0{}^2 c_0 \cos a_0)}{1.8 g^2 g^{0.5}}\right)^{0.5}$$

on g és el coeficient de trencament,

Sabem que el ràtio de transport depèn de la orientació del front d'ones en aigües profundes segons l'exemple mostrat a la figura 2.6, per tant com que es vol seguir un model que tracta línies de la costa en evolució, que varien la seva orientació relativa amb el transcurs del temps i la direcció de les onades és constant, el transport longitudinal es pot expressar exclusivament en funció de l'angle del front d'ones en aigües profundes.

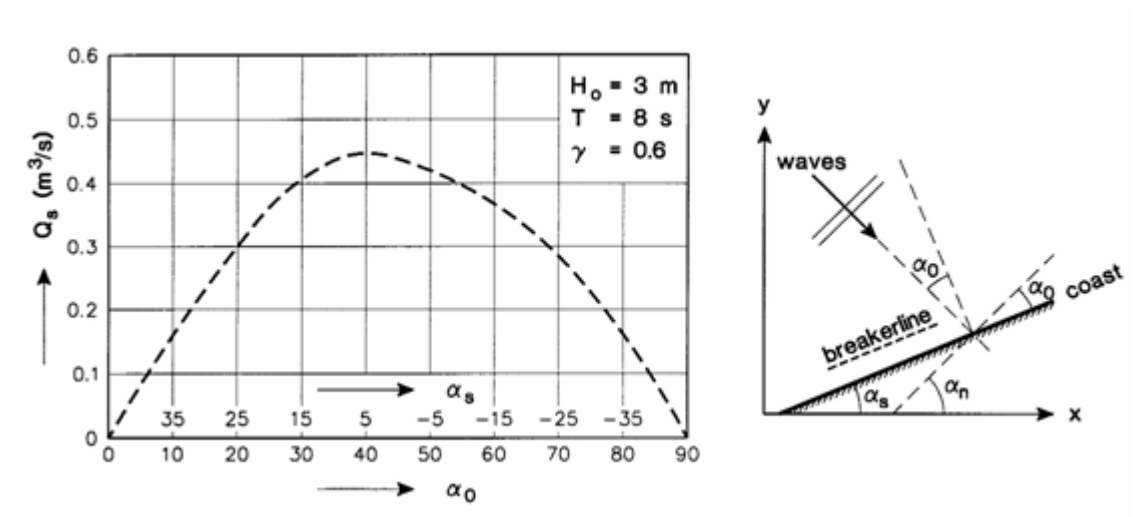


Figura 2.6: Transport sedimentari en funció de la direcció de la costa

El model a més també està controlat per un paràmetre de calibració K que permet ajustar-lo a diferents tipus de situacions.

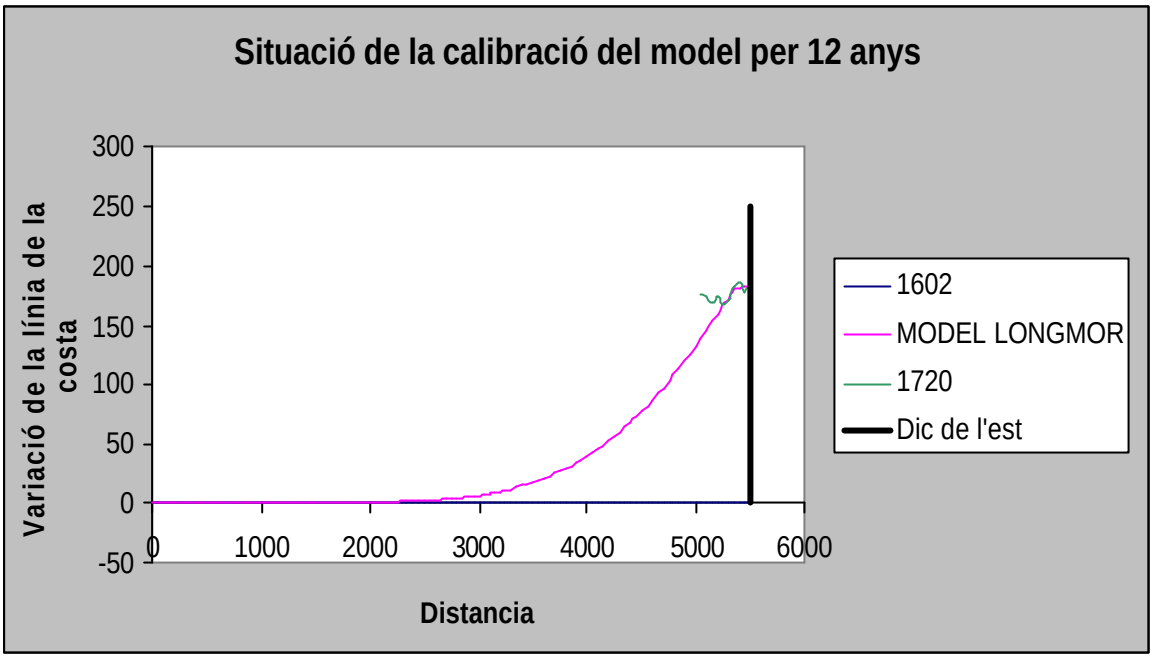
Pel cas concret del litoral barceloní s'han fet servir les dades d'onatge que es poden veure a la taula 2.5, aquestes corresponen al clima mig indicat anteriorment. Degut a la simplicitat del model no s'ha pogut introduir un clima mig per a tots els sectors d'onatge sinó que se n'han hagut de triar uns específics ja que la inclusió de tots feia que el model no representés correctament els efectes marítims desitjats.

Sector		Tm<4	
	Hmorf	Tp	%
N	0.56	2.96	0.30
N30E	0.56	3.04	0.21
N60E	0.74	4.92	2.87
E	0.65	5.80	11.57
E30S	0.51	5.27	6.15
E60S	0.49	4.73	8.22

Taula 2.5: Onatge representatiu per al càlcul.

Per tal de calibrar el model s'ha utilitzar l'efecte barrera que es produeix al dic de l'est del port de Barcelona en situació real i s'ha intentat ajustar al màxim amb el resultat que proposa el model LONGMOR.

Així s'han agafat diferents línies de la costa que representessin efecte barrera per tal de poder fer les calibracions corresponents. S'han utilitzat els períodes 1602-1614 i 1697-1720, i s'estudiarà exclusivament el comportament del tram 3, ja que el model no permet un estudi més ampli. Els resultats de les probes per els dos períodes es poden veure a les figures 2.7 i 2.8.



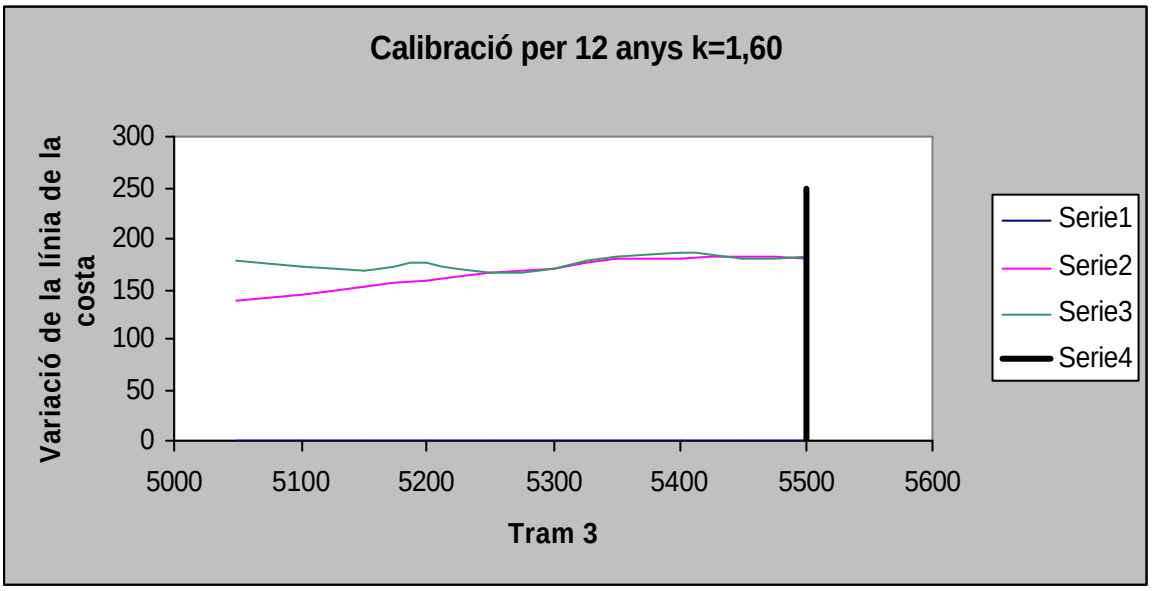
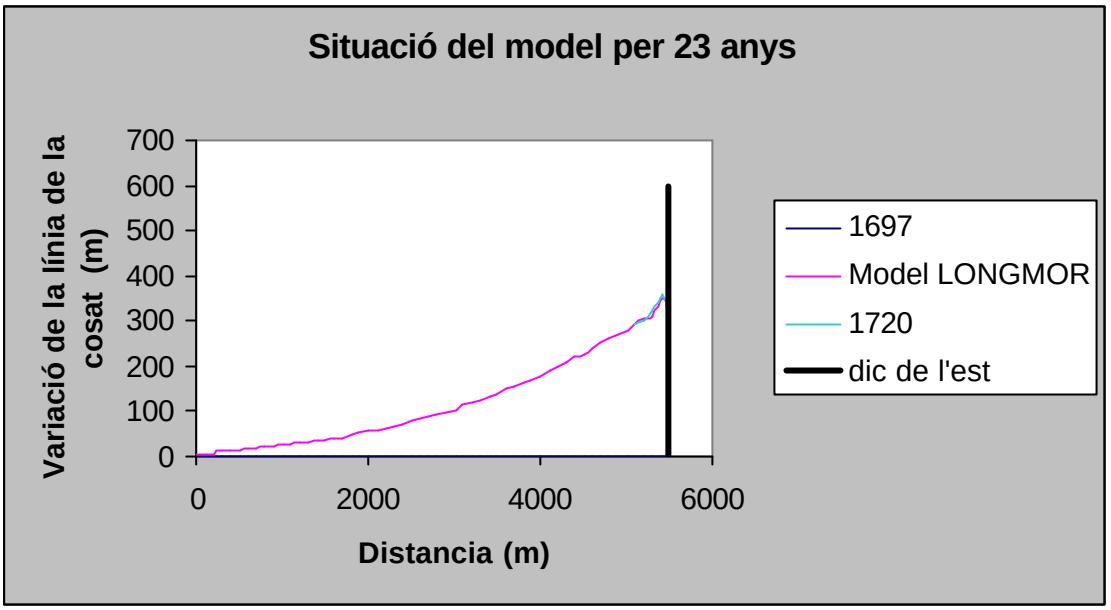


Figura 2.7: Calibració del model LONGMOR per al període 1602-1614

Gràfica 1: Situació general

Gràfica 2: Situació centrada al tram 3



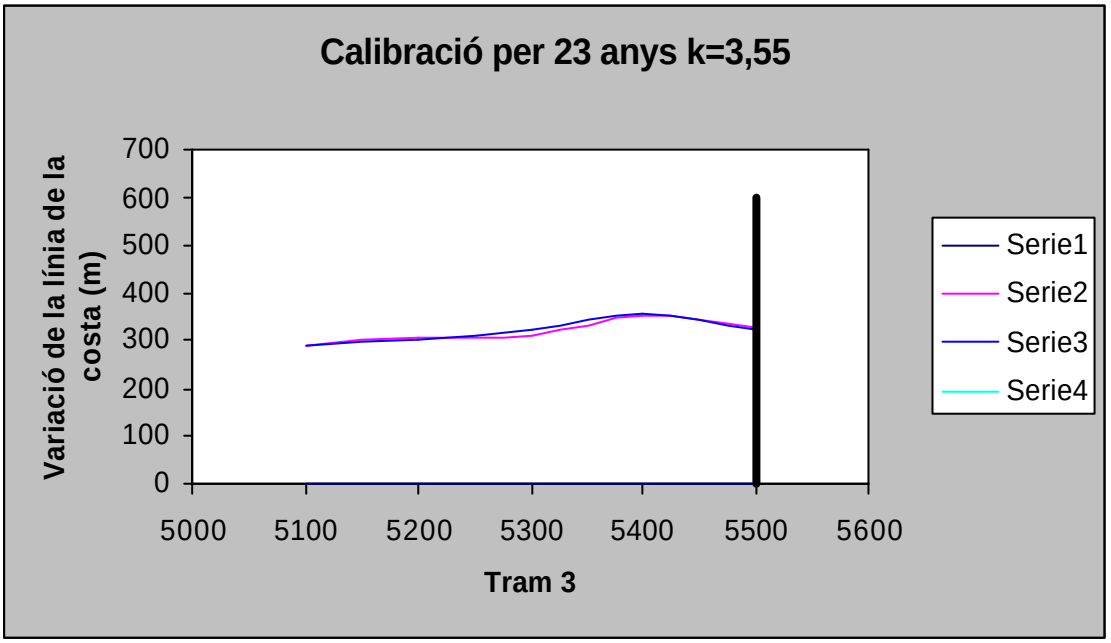


Figura 2.8: Calibració del model LONGMOR per al període 1697-1720

Gràfica 1: Situació general

Gràfica 2: Situació centrada al tram 3

El model per 12 anys ha estat executat amb un dx=50m i un dt (8dies)=0.05. D'aquesta manera s'aconsegueix una bona calibració. Es pot observar que per a 23 anys el model s'ha calibrat per franges de 100m i un dt= 0.1 degut a la inconsistència del model si s'executava a intervals menors per a un temps de 23 anys. Aquestes tries de dx i dt

respectivament ens defineixen el que s'anomena el nombre de Courant que ve definit per:

$$C = \frac{dt}{dx}$$

Aquest nombre ens determina la estabilitat del model evitant que es produeixin alteracions en el càlcul a l'hora d'executar-lo. En el nostre cas concret un C=0.01 ens assegura una bona estabilitat i convergència en el cas de la barrera sedimentària. Com es podrà veure en el *capítol 4: LONGMOR Model* en el cas de suposar un cert pas de sediments el model perdrà estabilitat en la zona del bypass, però la inestabilitat no s'estendrà fins al tram 3, cosa que ens permetrà seguir fent l'anàlisi de manera correcte.

Els error que porten inclosos els dos models es poden observar a la taula 2.6.

	Calibració 12 anys			**Calibració 23 anys**		
Distancia	$\Delta yreal$	$\Delta yLONGMOR$	Error Acumulat	$\Delta yreal$	$\Delta yLONGMOR$	Error Acumulat
5050	177	138	-39			
5100	174	145	-29	289	291	--2
5150	168	152	-16			
5200	175	158	-17	300	308	-8
5250	166	166	0			
5300	171	170	1	320	310	10
5350	182	179	3			
5400	186	180	6	356	350	-6
5450	179	182	-3			
5500	182	180	2	320	328	-8

Taula 2.6: Representació de l'error acumulat entre el resultat del model LONGMOR i el creixement real de la línia de la costa

Els dos models representen el comportament de creixement provocat per una barrera vertical, donant ambdós errors assumibles dintre de la simplicitat del model. En cap cas ens trobarem en error que superin els 3 m/any cosa que per un model macroscòpic a gran escala està dintre dels nivells permesos, així mateix els error més elevats es troben lluny del dic de l'est on la fiabilitat del model també es veu molt reduïda.

S'observa a les figuers 2.7 i 2.8 que el paràmetre de calibració dels dos models és diferent, sent k=1.60 per al període de12anys i k=3.55 per al període de 23 anys. Aquesta variació del paràmetre k té a veure amb dues diferencies relacionades amb la posició original de la costa i amb la quantitat d'events de clima extremal que es poden produir en un període d'anys diferents.

Pel que fa a la posició inicial de la costa, per al període 1602-1614 trobem que la línia de costa esta orientada en direcció NE-SW, mentre que degut als canvis soferts en els anys següents, la línia de la costa per al període 1697-1720 havia rotat uns 5º cap al nord. Aquesta rotació de la costa degut al seu creixement sota l'efecte del dic de l'est del port de Barcelona, canvia també la direcció d'incidència del clima mig imputat, i per tant les condicions per al transport longitudinal resultant.

L'altre element que ens fa variar el paràmetre k en els dos períodes, és la inclusió de més events de clima extremal com més ampli és el període que tractem. Per tant per a un període de 23 anys, hauran col·laborat a la formació de la costa, molts més events de clima extremal que no pas en un període de 12 anys. Això ens fa variar les condicions de creixement, i per tant per tal de simular a partir d'un clima mig el mateix fenòmens en més anys, el paràmetre de calibració variarà en conseqüència.

Un cop calibrat el model s’ha llençat per a poder observar com hagués funcionat el litoral sense la presencia del port de Barcelona. Els resultats obtinguts es troben al *Capítol 4: Resultats del model LONGMOR.* .

A l’annex de càlcul podrem veure els diferents arxius .inp d’introducció de dades.