

JOSEP PARDO PASCUAL *

OSCIL·LACIONS DEL NIVELL MARÍ DEL MEDITERRANI OCCIDENTAL A PARTIR DE LES DADES DELS MAREÒGRAFS **

RESUMEN

En este estudio se intenta observar cual ha sido la evolución seguida por el nivel del mar en los últimos cien años en las costas del Mediterráneo francés, español y argelino. Para ello se han analizado las series de datos registrados por quince estaciones mareográficas.

Los resultados obtenidos permiten apreciar un comportamiento homogéneo para el conjunto del área estudiada. La mayor parte de las estaciones analizadas muestran una subida del nivel del mar, y únicamente en tres observatorios se observa una tendencia negativa. Las costas europeas analizadas siguen un proceso evolutivo bastante semejante, coincidiendo los momentos de elevación y bajada del nivel del mar, al menos en períodos cortos (cinco o diez años).

ABSTRACT

The aim of this work is the study of the sea level evolution occurred in the Mediterranean coasts of France, Spain and Algier during the last hundred years. Time series of fifteen tide-gauge records have been analyzed.

From the results obtained it can derived an homogenous trend for the whole area. Most of the tide-gauge show a general rise of sea level, and only in three stations a negative trend has been observed. European Mediterranean coast studied show a similar evolution pattern, specially concening to short-time (five-ten years) changes.

* Departament de Geografia. Universitat de València.

** Aquest article està en el marc del Projecte 274-IGCP *Quaternary evolution: case studies, models and regional patterns*.

INTRODUCCIÓ

L'estudi de l'evolució del nivell de la mar es pot enfocar des de distintes perspectives i amb objectius ben diferents segons l'escala temporal que s'utilitze. Es podria parlar, en primer lloc, d'oscil·lacions de període curt, quan es fa referència a moviments periòdics, com és el cas de les marees i de les distintes variacions d'origen astronòmic, o no periòdic, com són els canvis provocats per factors meteorològics, oceanogràfics i hidrològics. Dintre d'aquest darrer grup caldria introduir les variacions del nivell marí originades pels canvis de pressió atmosfèrica o pels apilaments d'aigua com a conseqüència de vents forts i relativament persistents, o en certs llocs l'increment provocat per pluges intenses, com succeeix de vegades en zones monsoniques. També entrarien dins del grup d'oscil·lacions del nivell del mar a curt termini els canvis estacionals, relacionats especialment amb l'evolució de la temperatura de l'aigua i amb el funcionament dels corrents marins. Així mateix caldria incloure-hi els canvis provocats per les descàrregues fluvials, que poden fer augmentar, de forma esporàdica o estacional, la massa d'aigua en un tram costenc, o modificar-ne les característiques físiques (temperatura i densitat), cosa que provoca una variació en el volum ocupat per aquestes aigües.

En un estudi de l'evolució a llarg termini els factors responsables són diferents i els mètodes d'anàlisi també. Si s'anàlitzien els principals factors que intervenen en l'evolució del nivell marí a escales temporals llargues caldrà fer-hi entrar en joc el concepte de canvis eustàtics i canvis tectònics i isostàtics. El primer fa referència als processos que provoquen una modificació en el nivell de la mar com a conseqüència de canvis oceànics. Els canvis eustàtics —modificacions en la capacitat de la conca oceànica, increment del volum de l'aigua per causes estèriques, augment de la massa d'aigua a conseqüència dels processos de desglaçament, etcètera— afecten el conjunt dels oceans, encara que, com es desprèn dels treballs de MÖRNER (1976, 1980) i d'altres investigadors del comportament del geoide, els canvis eustàtics no tenen per què afectar de la mateixa forma el conjunt dels mars, fins i tot es poden produir amb diferent signe.

Per altra banda, els moviments verticals del continent són, així mateix, responsables de bona part dels canvis del nivell de la mar apreciats en una anàlisi de la seua evolució a llarg termini. Moviments tectònics, relacionats en la major part dels casos amb el comportament de les plaques, són responsables de canvis de vegades bruscos —en forma de moviments sísmics— i d'altres més lents. De la mateixa manera els reajustaments isostàtics són responsables de canvis observats en bona part de les costes oceàniques. També són destacables les variacions produïdes com a conseqüència dels processos de subsidència per compactació de sediments, o pel buidament d'altres materials (com ara aigua, petroli o gas) normalment associats a activitats humanes.

En l'estudi que ací presentem s'intenta donar a conèixer l'evolució del nivell mitjà del Mediterrani occidental a una escala d'un centenar d'anys. Per a aquest

lapse de temps els registres mareogràfics s'han revelat especialment útils. Aquesta mena d'estudis, que es van iniciar pels anys trenta i quaranta (VIGNAL, 1935; GUTENBERG, 1941), han pres un nou interès a partir de les hipòtesis que prediuen una forta elevació del nivell de la mar com a conseqüència del fenomen conegut com a «efecte hivernacle» (*greenhouse effect*).

UNA NOVA PERSPECTIVA EN L'ESTUDI DELS CANVIS DEL NIVELL DEL MAR: L'EFECTE HIVERNACLE

Entre les possibles causes eustàtiques responsables d'una ràpida elevació del nivell del mar n'existeixen dues de fonamentals: l'expansió tèrmica de les aigües superficials i l'increment d'aigua a les conques oceàniques provocats pel desglaçament o fragmentació de glaceres o casquets polars. En qualsevol cas aquests fenòmens estan en relació amb variacions climàtiques. Els canvis climàtics que s'han produït al llarg de l'història de la terra han estat sempre naturals, actualment, però l'home ha introduït nous elements que poden ser causa d'aquests canvis. L'increment substancial de CO₂, metà, òxid nítric i clorofluorocarbonats a l'atmosfera pot provocar-hi una concentració de calor per l'efecte hivernacle que aquestes partícules produeixen.

L'increment d'aquests gasos durant els dos últims segles —des de la revolució industrial— ha estat important i progressiu. Segons HOFFMAN, *et al.* (1983), la producció de CO₂ s'ha incrementat en un 20% en els darrers 180 anys. Estudis de més detall han permès conèixer que des de 1958 l'augment ha estat del 8%. Entre 1970 i 1980 el metà s'ha incrementat entre l'1 i el 2%, mentre que la producció de clorofluorocarbonats ha augmentat en un 6%. L'òxid nítric ha crescut en un 0'5% des de 1975 fins 1980. Aquests increments han estat causats per les activitats industrials, almenys en el cas del CO₂: combustions de petroli, gas, etcètera.

Aquesta situació es relaciona, doncs, amb activitats bàsiques del nostre sistema econòmic i per tant és difícil pensar que puguin desaparèixer. Com s'ha pogut demostrar, aquests gasos provoquen un increment en la temperatura i, per tant, és de esperar que en els propers anys es produeixi un recalfament de l'atmosfera. Segons estudis realitzats per l'Acadèmia Nacional de les Ciències dels Estats Units (CHARNEY, 1979; SMAGORINSKY, 1982), l'augment de la temperatura que s'hi produirà quan s'haja doblat la proporció de CO₂ serà major de 1'5° C i menor de 4'5°. Aquesta elevació serà deu vegades major que l'elevació històrica de la temperatura que ha estat de 0'4° C als darrers cent anys (HANSEN *et al.*, 1981).

Així doncs, aquesta ràpida pujada de la temperatura tindria unes conseqüències en el nivell de la mar que podrien ser les següents:

1) Expansió tèrmica: el recalfament fa que disminueixi la densitat de l'aigua oceànica i, amb això, s'incrementa el volum. Així, una mateixa quantitat d'aigua ocupa més espai i, per tant, s'observaria una elevació del nivell de la mar.

El *ratio* d'aquesta elevació dependrà directament de la quantitat de calor que absorbesca l'oceà.

2) Transferència d'aigua des de la terra al mar per fusió: l'elevació del nivell de la mar que es produiria per transferència seria menor, almenys en un primer moment, que la causada per l'expansió tèrmica de l'aigua i no seria proporcional al recal·fament. La deglaciació pot ser un fenomen en el que existesca un llindar que estaria en relació amb la magnitud del calfament. S'entén, doncs, que en un primer moment els canvis del nivell del mar dependrien només de l'expansió tèrmica de les aigües superficials.

A partir de les distintes hipòtesis d'augment de la temperatura atmosfèrica i del comportament dels diferents factors que provoquen la pujada del nivell de la mar s'han proposat distints «escenaris» o possibilitats d'elevació (més o menys conservadors) com a conseqüència de l'increment dels «gasos hivernacle» (*greenhouse gases*). D'acord amb les taxes d'elevació proposades per HOFFMAN *et al.* (1986) el marge oscil·laria entre 0'57 m, en l'escenari més conservador, i 3'68 m, en l'escenari més pessimista.

Escenaris d'elevació futura del nivell del mar (en centímetres)

Escenari	2000	2025	2050	2075	2100
Alt	5'5	21'0	55'0	191'0	368'0
Baix	3'5	10'0	20'0	36'0	57'0

Font: HOFFMAN *et al.* (1986).

La possibilitat d'elevacions del nivell del mar com les assenyalades ha fet que aquest fenomen siga observat amb interès per la comunitat científica. Per aquest motiu, als darrers anys, estan sorgint una gran quantitat d'estudis en aquesta línia. Entenem, però, que calen encara nous treballs des d'aquesta i d'altres perspectives per fer front al problema.

L'ESTUDI DEL NIVELL DE LA MAR A PARTIR DELS REGISTRES DELS MAREÒGRAFS

La instal·lació de les estacions mareogràfiques en els diferents mars i oceans ha permès comptar amb una nova font d'informació, de suma importància a l'hora d'observar els canvis que ofereix el nivell mitjà de la mar.

Un període de temps ja considerable ens separa de la instal·lació dels primers mareògrafs: 1682 a Amsterdam, 1704 a Stockholm, 1807 a Brest (PUGH *et al.*, 1987). A la costa espanyola el d'Alacant va ser el primer, amb la intenció d'obtenir el nivell zero o *datum* de la xàrcia topogràfica de l'estat; per això es va col·locar en 1874.

Les dades obtingudes mitjançant els mareògrafs són les que permeten conèixer millor l'evolució del nivell de la mar al període ençà de la seua instal·lació.

La informació registrada pels mareògrafs aporta un detall que difícilment s'obté amb altres tipus d'estudi dels canvis del nivell de la mar.

Als darrers anys, determinades investigacions relacionades amb els estudis arqueològics han vingut a subratllar oscil·lacions del nivell de la mar en els últims milers d'anys (FLEMING i WEBB, 1986; CNRS, 1987; GORNITZ i LEBEDEF, 1987). Aquestes variacions a escala global estan en relació amb canvis eustàtics dependents de les oscil·lacions climàtiques. A més d'aquests canvis globals, és fàcil trobar modificacions regionals o fins i tot locals, producte dels moviments isostàtics, tectònics i de subsidència. Les variacions que mostren les dades registrades pels mareògrafs poden marcar-nos aquests canvis, encara que no sempre són clars indicadors del seu origen.

La xarxa de mareògrafs abasta totes les costes del món, encara que la distribució n'és prou desigual, al concentrar-se les estacions a les costes del NW europeu i a les de Nordamèrica. Aquest biaix geogràfic provocarà que la informació que podem obtenir dels susdits mareògrafs haja de tractar-se amb molta cura a l'hora de marcar tendències mundials. Malgrat açò, però, el fet de comptar amb dades de pràcticament tot el planeta sí permet, almenys, un acostament al fenomen a escala mundial. La creació el 1933 del Permanent Service for Mean Sea Level, que començà a recollir, concentrar i uniformitzar dades de mareògrafs de tot el món, ha facilitat el treball de manera considerable. Aquest servei, que ha estat una de les nostres principals fonts d'informació, es troba actualment sota els auspicis de la Federació de Serveis Geofísics i Astronòmics del Intergovernamental Oceanographic Commission de la UNESCO.

A partir de l'estudi dels registres mareogràfics, diferents autors han buscat la taxa de canvi global del nivell marí. GUTENBERG (1941) va ser el primer investigador que presentà una taxa de canvi per al conjunt del planeta. Ho feu analitzant sèries procedents de diferents parts del món, deixant-ne fora els observatoris de Canadà i d'Escandinàvia que, com és sabut, mantenen uns processos de realçament continental com a conseqüència dels reajustaments glacioisostàtics. La taxa obtinguda per GUTENBERG (1'1 mm/any) va ser considerada d'origen eustàtic des del principi. A partir d'aquest moment s'han realitzat altres estudis semblants: LISITZIN (1958), FAIRBRIDGE i KREBS (1962), EMERY (1980), GORNITZ *et al.* (1982), BARNETT (1983, 1984), AUBREY i EMERY (1983), PIRAZZOLI (1986), GORNITZ i LEBEDEF (1987). En tots els estudis s'aprecia una tendència a l'elevació del nivell marí que oscil·la entre el +1'1 mm/any de GUTENBERG i els 3 mm/any de EMERY (1980), acceptant-se de forma general una elevació d'1'5 mm/any (BARNETT, 1983).

Un problema més complex és el que fa referència a les causes d'aquesta elevació i, especialment, el saber en quin grau aquests canvis són eustàtics. La varietat de factors que influeixen en els canvis de nivell fa en moltes ocasions difícil definir el paper que cadascú hi juga. En un primer moment es considerava que, per averiguar si els canvis eren eustàtics o no, només calia analitzar els observatoris d'àrees estables, és a dir, que no estiguessen afectades pels processos tectònics, de subsidència i els isostàtics. Després del treball de CLARK *et al.* (1978), on a

partir de models de comportament físic de l'escorça terrestre es demostrava que la resposta isostàtica postglacial afectava, en major o menor mesura, tot el planeta, esdevé difícil trobar una zona estable on poder comprovar els canvis eustàtics. GORNITZ i LEBEDEFF (1987), per a poder eliminar el «soroll» introduït pels reajustaments postglacials en la línia d'elevació eustàtica, han analitzat quina ha estat l'evolució del nivell marí durant l'Holocé, i a partir d'aquesta anàlisi han pogut discernir en quin grau els actuals *ratios* de canvi són d'origen eustàtic o isostàtic. PIRAZZOLI (1986, 1989), per una altra banda, dóna una menor importància als canvis d'origen eustàtic i remarca la gran influència que tenen els moviments tectònics i de subsidència. Especialment significatius resulten els canvis relacionats amb els moviments sísmics i els relacionats amb l'acció volcànica, que de vegades es mostren molt espectaculars: per exemple, a Messína s'observen *ratios* de l'ordre de $+19^{\cdot}4$ mm/any de l'elevació del nivell de la mar per les modificacions que s'estan produint a partir de l'acció volcànica (EMERY *et al.*, 1988).

Una altra qüestió a destacar és quins serien els factors que provocarien una elevació global del nivell del mar, tal com s'aprecia de l'estudi dels mareògrafs. En un primer moment, la major part dels autors acceptaven que aquest increment estava en relació amb els processos de fusió de glaç dels casquets polars i de les glaceres de latituds mitjanes. Ara però, sobretot a partir d'estudis glaciològics en zones polars, s'ha desestimat, de forma general, la idea de que s'estiga produïnt un procés de desglaçament a l'Antàrtida i Groenlàndia. Es pensa que el principal responsable de la pujada eustàtica del nivell del mar seria l'expansió tèrmica de l'aigua a causa d'una petita elevació en la temperatura atmosfèrica al darrer segle.

Els canvis apreciats pels registres mareogràfics mostren un comportament molt distint d'uns a altres llocs. S'ha dit que les costes de latituds més altes —les de Canadà i Fenoscàndia— mantenen una resposta contrària a l'apreciada a la resta del planeta. PIRAZZOLI (1986) observa que a les costes situades a més de 60° s'hi registren *ratios* de -6 mm/any, mentre que a les latituds mitjanes (des dels 50° cap al sud) la tendència és de $+1^{\cdot}5$ mm/any. A més d'aquests canvis, GORNITZ i LEBEDEFF (1987) destaquen el distint ritme d'elevació que s'observa entre els margens orientals i occidentals dels oceans. Així mateix hi ha zones fortament influenciades pels comportaments de les plaques tectòniques. A més d'aquests canvis que afecten àmplies àrees o regions, en estacions properes trobem variacions destacables que poden ser degudes a fenòmens locals de tectònica o subsidència o també a fenòmens meteorològics o hidrològics de gran importància. VIGNAL (1935) destacava l'impacte que sobre els registres de l'estació algerina de Bône (fig. 2) van provocar els forts temporals de 1933 i 1934. Tampoc cal oblidar els reajustaments del nivell geodètic que poden conduir a canvis en el comportament d'estacions relativament properes.

Açò suggereix l'interés que poden tenir estudis d'una àrea concreta, com pot ser el Mediterrani occidental i observar les tendències que s'hi aprecien. Les variacions regionals, al ser importants, com s'ha dit anteriorment, justifiquen plenament la realització d'aquest estudi.

L'estudi de l'evolució recent del nivell del mar, en el Mediterrani l'han dut endavant pocs autors. En un treball de PIRAZZOLI (1987) apareix un apartat referit a l'evolució detectada a partir dels registres dels mareògrafs, basat en un article anterior del mateix autor (1986) en què tractava aquests registres per al conjunt del planeta. En aquest estudi PIRAZZOLI només considera els observatoris amb més de 50 anys de registre. Les estacions tractades per ell, coincidents amb les nostres són: Alacant, Marseille, Port Vendres, Sète, Martigues, Villefranche, Bône, Alger i Oran. Si bé el període estudiat no és sempre idèntic al nostre, es veu que la tendència és la mateixa en tots els casos. Un altre treball referit al tema és el realitzat per EMERY, AUBREY i GOLDSMITH (1987) sobre la neotectònica costenca del Mediterrani a partir dels registres dels mareògrafs. Aquest estudi es centra especialment sobre la costa oriental mediterrània (especialment sobre les costes d'Israel i Egipte) i només tracta d'una forma tangencial la situació del Mediterrani occidental. Utilitzen observatoris amb registres de quinze anys o més. Això els permet incloure-hi alguns observatoris no tractats per PIRAZZOLI, com ara els de Gibraltar i Ceuta.

Des d'un altra perspectiva s'ha realitzat l'estudi de QUEREDA i LÓPEZ (1988) sobre les oscil·lacions recents al port de Castelló de la Plana. Aquest treball, centrat sobre una única estació, no extrau conclusions de tipus regional.

L'objectiu principal del nostre article és d'averiguar quina és la tendència principal del nivell de la mar i quin ha estat el comportament al llarg del darrer segle. Primer es presentaran les dades amb les que s'ha treballat, senyalant-ne les deficiències; després, els resultats i la seua discussió.

LES DADES

S'han estudiat les variacions esdevingudes al Mediterrani occidental, en concret sobre les estacions situades en les costes franceses, espanyoles i algerines. Les dades tractades han estat proporcionades per l'Instituto Geográfico Nacional i el Permanent Service of Mean Sea Level.

El IGN ens ha subministrat la sèrie completa registrada a Alacant entre 1874 i 1984. L'observatori, el millor i més antic d'Espanya, se situa al port, on de fet n'existeixen dos de mareògrafs. A partir de 1927 s'instal·là una segona estació mareogràfica en un altre emplaçament del mateix port. Afortunadament s'ha pogut comptar amb una sèrie d'anys en què els registres d'ambdós aparells coincideixen, i això ha permès homologar les dues sèries. Sobre aquest període solapat s'han obtingut les diferències entre els registres mitjans anuals d'una estació i una altra, i s'han trobat les mitjanes d'aquestes diferències, ja que les dades de l'aparell més antic registraven sempre resultats més baixos. Així hem elevat la sèrie antiga i rebaixat la més moderna a partir dels resultats promediats.

En les dades del PSMSL podem establir diferències entre els tractats per aquest organisme, que ens ha proporcionat en mitjanes mensuals i anuals, i d'altres s'hi han obtingut a partir de la recol·lecció de valors antics publicats per dife-

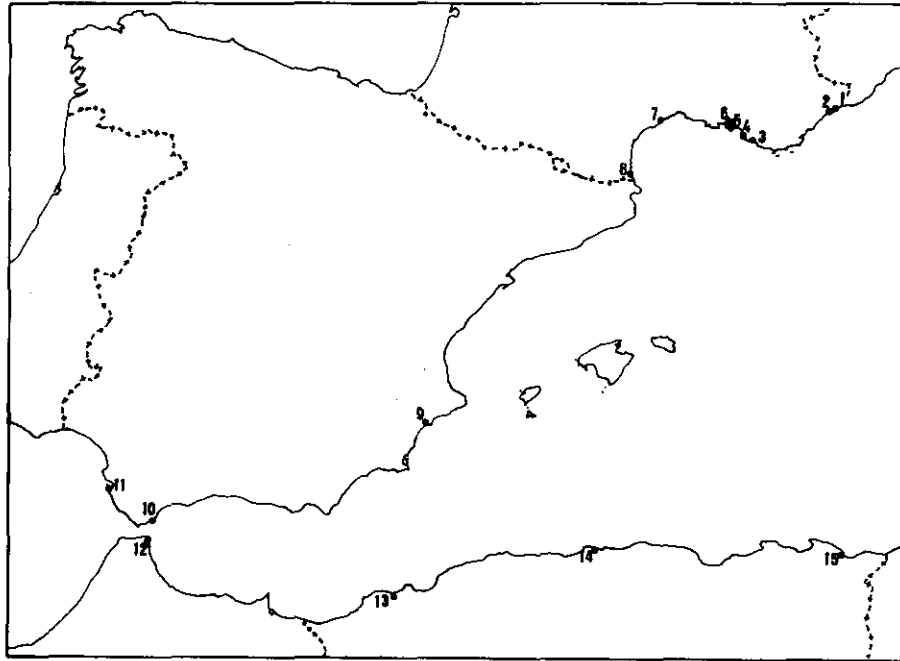


Fig. 1.— Localització dels mareògrafs. (1) Villefranche, (2) Nice, (3) La Ciotat, (4) Marseille, (5) Martigues, (6) Port de Bouc, (7) Sète, (8) Port Vendres, (9) Alacant, (10) Gibraltar, (11) Cádiz, (12) Ceuta, (13) Oran, (14) Alger, (15) Bône.

rents entitats, dels que només comptem amb mitjanes anuals. Les dades del primer grup han estat tractades pel PSMSL, revisant-ne la fiabilitat després de l'estudi de la història del mareògraf i s'han referit a un *datum* únic, fent-los d'aquesta forma comparables (*Revised Local Reference, RSR*): Marseille (1885-1963), Gibraltar (1962-87), Ceuta (1946-63). Finalment hem treballat amb les dades antigues recopilades pel PSMSL: Cádiz I (1880-1934), Port Vendres (1888-1943), Sète (1888-1959), Port de Bouc 1894-1939), Martigues (1894-1958), la Ciotat (1893-1952), Villefranche (1913-1957), Nice (1888-1909), Bône 2 (1909-1953) i Oran (1890-1920). Caldria advertir, però, que existeixen més dades referides a aquestes estacions o a altres que s'ha preferit no utilitzar per raons diverses. S'han despreciat aquelles sèries que tenien oscil·lacions molt brusques sense que hi haja cap raó per explicar-les, ja que possiblement aquests «salts» estan en relació amb manipulacions del mareògraf. La distribució dels observatoris la podem apreciar a la figura 1.

PIRAZZOLI (1986) utilitzà exclusivament aquelles dades del PSMSL, les sèries dels quals cobrien almenys cinquanta anys en un estudi d'àmbit mundial. EMERY *et al.* (1988) però, en el seu treball sobre el Mediterrani utilitzen per a averiguar la tendència, sèries de quinze anys. En el present estudi s'ha aplicat

aquesta mateixa limitació, ja que en alguns observatoris, sobretot de la costa espanyola, les sèries són curtes i per al nostre cas era particularment interessant aprofitar les dades referents a les costes del Mediterrani espanyol.

En la taula II es pot observar de forma resumida l'origen i característiques de les dades dels diferents observatoris.

TAULA II

Estacions	IGN	PSMSL		
		RSL	NO RSL	Antics
Alacant I	1874-1978 (42)	1952-1983 (24)		
Alacant II	1927-1984 (42)	1960-1985 (26)		
Ceuta		1946-1963 (19)		
Gibraltar		1946-1987 (21)		
Cádiz			1946-1964 (13)	1880-1923 (42)
Port Vendres			1978-1982 (5)	1888-1959 (69)
Sète			1960-1961 (2)	1888-1959 (66)
Port de Bouc			1960-1982 (9)	1894-1959 (63)
Martigues			1960-1982 (9)	1895-1958 (61)
Marseille		1885-1963 (78)		1885-1956 (72)
Nice			1974-1984 (7)	1888-1909 (22)
La Ciotat				1893-1952 (55)
Villefranche				1913-1957 (44)
Bône 2				1908-1959 (46)
Alger				1905-1959 (44)
Oran				1890-1959 (44)

ANÀLISI

No hi ha una única tècnica de tractament de les dades. En el present treball se n'han utilitzat dues: l'ajust a una recta de regressió (EMERY *et al.*, 1988) i la suavització de la línia mitjançant les mitjanes mòbils.

En la taula II es presenten els resultats de les tendències en mm/any assenyalant-hi la quantitat d'anys que abarca la recta de regressió. L'ajust entre les rectes que marquen la tendència i les dades reals s'ha comprovat utilitzant el test *t* de Student (EMERY *et al.*, 1988). S'ha constatat que en la major part dels casos la relació és superior al 90%. Només en el cas de Cádiz i de Port Vendres l'ajust va resultar inacceptable a aquest nivell.

Donat el fet que les variacions són importants, s'ha cregut interessant indicar també l'error *standard* que té la recta de regressió. El seu elevat valor podria indicar les fortes oscil·lacions que el nivell mitjà de la mar sofreix front a la recta de regressió.

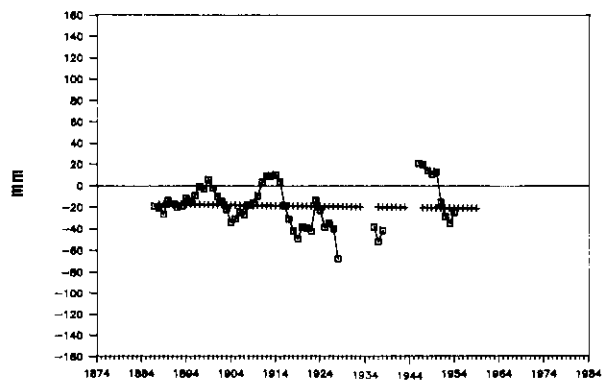
TAULA III

Estació	mm/any	Error Std. (mm)	Anys
Alacant	0'88	40'17	1874-1984
Cádiz	0'73	53'65	1880-1923
Ceuta	0'42	32'8	1946-1963
Gibraltar	-1'71	45'25	1962-1987
Oran	1'0	32'38	1890-1920
Alger	0'07	45'4	1905-1959
Bône 2	1'26	78'49	1905-1959
Marseille	1'3	25'9	1885-1952
Villefranche	0'72	39'4	1913-1957
La Ciotat	1'76	34'6	1893-1952
Martigues	-0'43	46'28	1894-1958
Port Vendres	1'74	36'88	1888-1942
Sète	-0'7	37'64	1888-1933
Port de Bouc	2'43	43'93	1888-1939
Nice	0'53	20'55	1888-1909

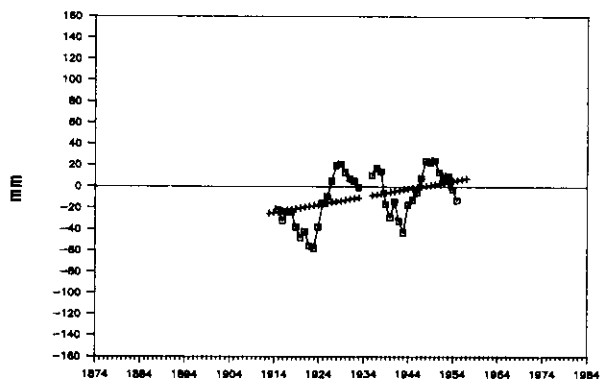
A la figura 2 es mostra l'evolució seguida en cadascun dels observatoris analitzats. S'ha aplicat una tècnica de suavització per a poder observar amb major claredat els canvis del nivell marí a base de mitjanes mòbils sobre cinc anys. A partir de les gràfiques (fig. 2) i dels resultats obtinguts es poden fer algunes observacions que en faciliten la interpretació. Si es comparen els resultats que s'han tret a partir dels registres dels mareògrafs s'observen algunes semblances destacables. Els períodes d'ascens i descens del nivell del mar coincideixen *grosso modo*.

Una primera coincidència podria observar-se a l'inici de la baixada del nivell marí devers 1883 que s'aprecia a Cádiz i Alacant, que són els únics observatoris dels que disposem dades aleshores. En 1889 Alacant i Marseille presenten un canvi de tendència en un sentit, mentre que Cádiz ho fa en sentit contrari. Pels volts de 1895 s'aprecia una nova inflexió, la trajectòria, fins aleshores a la baixa, comença a pujar a Alacant, Marseille, Martigues, Port de Bouc, la Ciotat, Sète, Port Vendres, Nice i també a Oran. Cádiz, pel contrari, manté un procés clar d'ascens. Devers 1900 es pot distingir un altre canvi en la tendència, iniciant-se

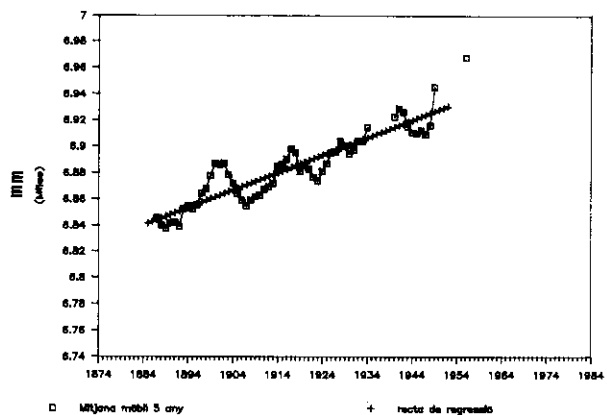
Sète (1888-1959)



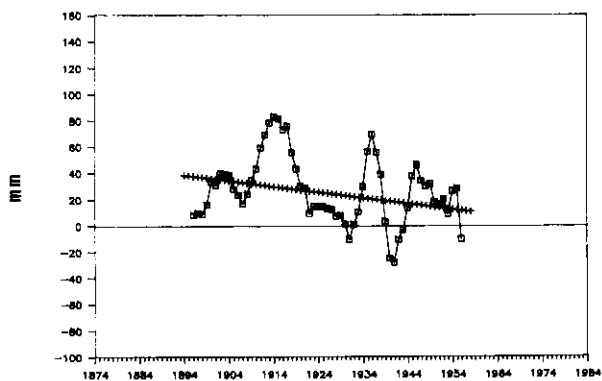
Villefranche (1913-1957)



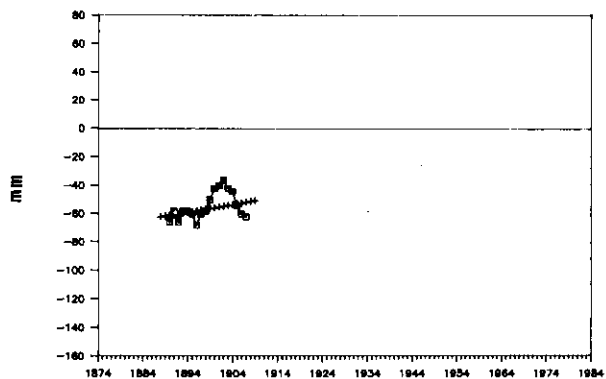
Marseille (1885-1963)



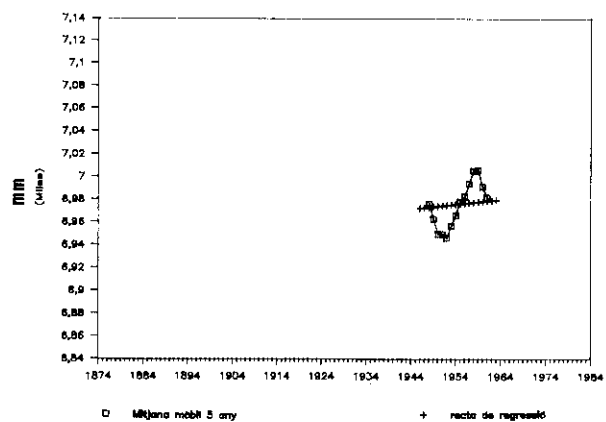
Martigues (1894-1854)



Nice (1888-1909)

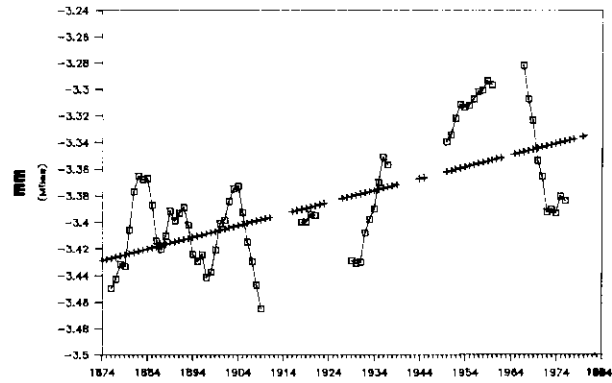


Ceuta(1946-1963)

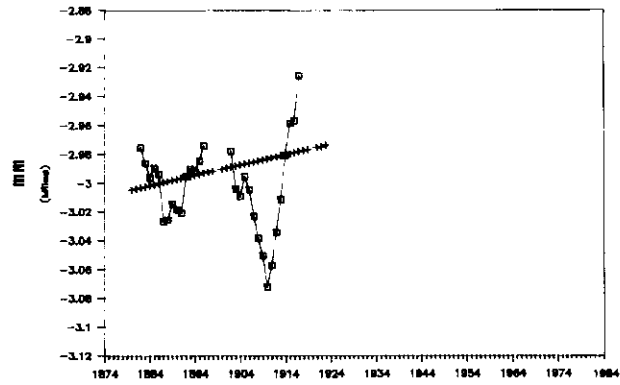


□ Mitjana mòbil 5 any + recta de regressió

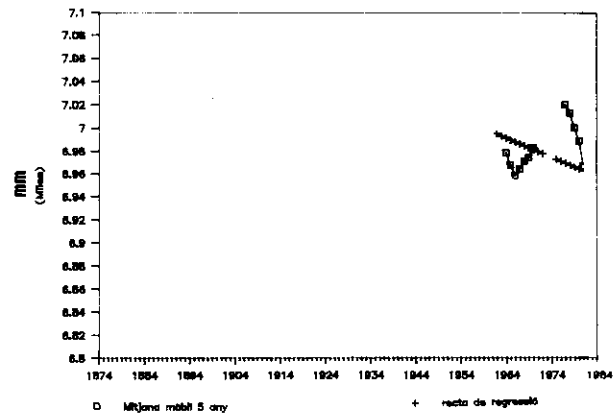
Alacant (1874-1984)



Cádiz (1880-1923)



Gibraltar (1962-1987)



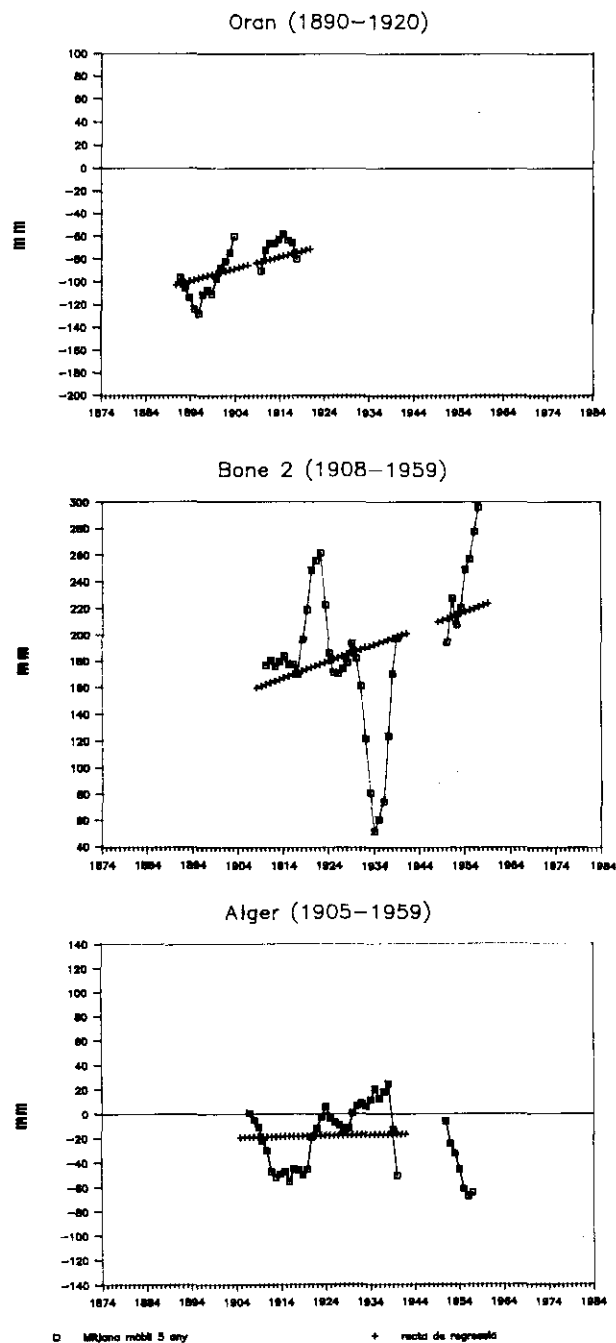


Fig. 2.—Evolució del nivell del mar als diferents mareògrafs mesurada en mil·límetres. En les gràfiques es mostra la tendència suavitzada (obtinguda mitjançant la tècnica de les mitjanes mòbils sobre 5 anys) i la tendència absoluta expressada per la recta de regressió.

un descens del nivell del mar. S'observa a Nice, Port de Bouc, Martigues, Marseille, la Ciotat, Port Vendres i s'endivina —ja que falta alguna dada— a Cádiz. Amb un cert retard s'aprecia també a Sète i Alacant. A Oran no s'observa aquest canvi, sinó una pujada del nivell. Pels volts de 1907 s'adverteix un nou canvi de la trajectòria apreciable a la major part de les estacions mareogràfiques de la costa investigada. Es nota un punt d'inflexió a la tendència a la disminució del nivell de la mar a Nice, Port de Bouc, Martigues, Marseille, la Ciotat i Sète. A l'observatori d'Alacant i al d'Oran es pot percebre una inflexió en la trajectòria a la baixa, encara que no massa clara per la manca d'algunes dades. A Port Vendres i Cádiz s'aprecia el punt d'inflexió una mica desplaçat.

En 1918 es troba un nou canvi de tendència a Marseille que es repeteix en altres estacions mareogràfiques: la Ciotat, Port de Bouc, Port Vendres i Alacant. No es produeix a Sète, ni a Villefranche, ni a Martigues, d'on es compta amb dades des de 1913. Tampoc no s'aprecia als mareògrafs del nord d'Àfrica: Bône, Alger i Oran.

En 1935 sembla remarcar-se una nova inflexió del sentit de la trajectòria en alguns observatoris de la costa francesa: Port de Bouc, Martigues, Villefranche i la Ciotat, i al del port d'Alacant. A l'estació de Bône sembla observar-se la tendència contrària, mentre que a Alger, degut a la manca de dades, és difícil assenyalar el sentit que pren l'evolució del nivell de la mar. A partir d'aquest moment les sèries de registres preses a les costes franceses esdevenen més fragmentades, cosa que fa més difícil observar-hi coincidències. Només en 1959 apareix una altra coincidència en una inflexió que s'observa a les estacions d'Alacant i Ceuta. No s'en veu, però, cap entre les dades d'Alacant i Gibraltar.

De tot açò es podria destacar les clares similituds trobades en l'evolució del nivell marí a un termini relativament curt (cinc o deu anys) a les estacions de la costa francesa i d'Alacant, i en menor mesura a Cádiz. Les coincidències no són tan freqüents amb els observatoris del nord d'Àfrica, ni tant sols entre aquests entre sí. Aquest fet fa pensar com a causa d'aquestes oscil·lacions en factors que afecten tota la façana del Mediterrani occidental europeu. Potser que un estudi del comportament interanual dels corrents marins pogués donar llum sobre aquests «cicles» curts.

Per traure conclusions amb més seguretat caldria contrastar aquests resultats amb un major nombre d'estacions ja que, si bé a la costa mediterrània francesa la xàrcia de mareògrafs és relativament àmplia, el tram espanyol presenta una fretura de dades evident. De fet, la sèrie de registres del port d'Alacant és l'única utilitzable per a més de 3.000 Km de litoral. També és poca la informació disponible per a les costes nordafricanes, ja que els mareògrafs estan molt separats entre si.

Una altra observació que podria deduir-se de l'estudi dels gràfics de la figura 2 són els canvis de tendència a una escala de 25 ó 30 anys. Aquests canvis no s'aprecien en la totalitat de les estacions i tampoc semblen tenir una relació clara amb la seua distribució geogràfica. S'observa en el cas d'Alacant que des de 1874 fins a 1927, segueix una tendència més o menys estable que es trenca en aquesta

data a partir de la qual s'imposa un clar ascens del nivell marí. Un canvi del mateix estil es pot apreciar a la Ciotat, que des de 1893 fins a 1924 manté una lleugera tendència a baixar, i a partir d'aquest any canvia radicalment per a denotar una clara pujada del nivell del mar. Quelcom de semblant passa a Port de Bouc que des de 1894 fins 1923 manté una tendència estable o lleugerament ascendent i a partir d'aqueix moment la tendència s'hi torna molt més clarament positiva. Aquests canvis de signe, com s'ha dit, no s'esdevenen en el conjunt de les estacions. Es pot apreciar com la tendència observable a Marseille, Villefranche, Port Vendres i Oran és clara i continuada al llarg dels anys. Tot això fa suposar que les inflexions en les tendències observades en algunes estacions estan en relació amb fenòmens locals, fenòmens de neotectònica o de subsidència local.

Pel que fa al capteniment de les tendències a una escala encara major, és a dir, utilitzant tota la sèrie disponible, els resultats mostren una elevació generalitzada en el conjunt de les estacions analitzades. De fet, dels 15 observatoris estudiats, a dotze —Nice, la Ciotat, Port de Bouc, Port Vendres, Marseille, Villefranche, Alacant, Cádiz, Ceuta, Bône, Alger i Oran— s'aprecia una elevació del nivell del mar i, només a Gibraltar, Martigues i Sète la tendència és a la baixa. Els ritmes d'elevació deduïts són moderats, especialment si els comparem amb aquells que s'observen a les costes atlàntiques americanes.

Cal destacar algunes idees i observacions que poden ajudar-nos a entendre el grau de fiabilitat dels *ratios* mostrats a la taula 3. En primer lloc, s'hauria de remarcar que el grau de fiabilitat de les sèries curtes és menor que el de sèries més llargues. Un cas, possiblement significatiu, siga el de Gibraltar, que en el nostre estudi mostra una baixada de $-1'71$ mm/any, mentre que en l'estudi realitzat per EMERY *et al.* (1988) la tendència és de $+1'1$ mm/any. Aquesta diferència es produeix com a conseqüència de la inclusió de dades dels anys 1983-1987 en el nostre estudi, mentre que en el d'EMERY *et al.* (1988) l'estudi finalitzava en 1982. Aquest fet deixa constància de la poca validesa de les taxes obtingudes a partir de sèries curtes, ja que no permeten descobrir quina és la tendència secular. Com s'ha dit abans, l'existència d'oscil·lacions o «cicles» que poden durar fins a 30 anys, fa que difícilment siguin acceptables els resultats procedents de sèries més curtes.

Una altra idea a remarcar és el grau d'oscil·lació en les taxes que van des de $+2'43$ a Port de Bouc, fins a $-1'71$ a Gibraltar. Això indica la complexitat ja explicada dels moviments del nivell mitjà de la mar.

Respecte a les diferències en la taxa exacta mostrada per altres autors (PIRAZZOLI, 1986, i EMERY *et al.*, 1988) tenen que veure amb el tamany de la sèrie i amb les diferències del tractament estadístic. Cal dir, però, que excepte en el cas de Gibraltar, ja explicat, les diferències no són massa importants.

De l'observació del comportament de l'àrea analitzada es pot concloure que el conjunt ha tingut una evolució relativament semblant, amb modificacions locals possiblement causades per la subsidència o la neotectònica, però no s'observen grans canvis regionals, com poden apreciar-se en altres parts del litoral mediterrani. Açò està en relació amb les conclusions que FLEMING i WEBB (1986) ex-

trauen per als margens occidentals mediterranis de l'estudi de l'evolució del nivell del mar a partir dels sitis arqueològics. En aquell treball s'assenyala que les principals variacions del nivell marí s'associen a zones properes als límits actius de les plaques.

CONCLUSIONS

A partir de les observacions apuntades es podrien avançar algunes conclusions:

1. Els estudis d'evolució recent del nivell del mar han assolit una nova dimensió a partir de les teories que en pronostiquen una ràpida elevació com a conseqüència de l'«efecte hivernacle». Ja que els canvis no es produeixen per igual en el conjunt del planeta, semblen útils els estudis regionals.

2. L'estudi s'ha vist condicionat per la disponibilitat de dades. En especial, de la costa mediterrània espanyola se n'han obtingut poques —només les d'Alacant—, ja que les sèries de dades de les altres estacions eren massa curtes i fragmentades. Aquesta fretura de dades pot haver influït en els resultats obtinguts.

3. Dintre de l'evolució del nivell del mar observada a partir dels registres mareogràfics s'aprecien importants oscil·lacions o cicles que conformen unes característiques dents de serra, com per exemple les corbes de Marseille i Port Vendres. La duració d'aquestes oscil·lacions és d'uns cinc o deu anys.

4. Respecte a la distribució espacial dels observatoris i la possible regionalització de les tendències s'observa un comportament semblant en les oscil·lacions curtes (de cinc a deu anys) entre les estacions situades en la costa francesa i la d'Alacant. Les coincidències són menors amb l'evolució de Cádiz i prou diferents a les que s'observen als observatoris estudiats del nord d'Àfrica.

5. S'aprecien, així mateix, canvis importants en les tendències observades en períodes de trenta o quaranta anys. S'assenyala, però, que aquest tipus d'oscil·lacions no és advertit en totes les estacions estudiades. Això ens fa pensar en factors locals com a causants d'aquests canvis en el sentit de l'evolució del nivell del mar.

6. Els *ratios* d'elevació o descens són influïts per la quantitat d'anys dels que es disposen dades. Això fa que alguns dels nostres resultats —Gibraltar— varien respecte als oferits per altres autors (EMERY *et al.*, 1988).

7. En la major part de les estacions mareogràfiques estudiades s'aprecia una elevació del nivell marí. Dotze de les quinze presenten un signe positiu. De les tres estacions restants cal senyalar que Gibraltar té una sèrie molt curta i la tendència presentada podria ser molt distinta si es comptara amb un major nombre d'anys registrats.

8. Els *ratios* que s'aprecien són menors que els que es troben en les costes nordamericanes.

Entre les causes que influeixen en la tendència a llarg termini de l'evolució

del nivell marí en les costes del Mediterrani occidental caldrà fer entrar-hi en joc els elements que es barallen per a tot el conjunt del planeta, és a dir, les causes tectòniques i les eustàtiques. Pels resultats ací presentats es podria dir que s'aprecia, en certa manera, una elevació global. Açò podria estar en relació amb el recalfament atmosfèric que s'ha anat produint durant l'últim segle, 0'4° C (HOFFMAN *et al.*, 1983). Els efectes d'aquesta lleugera pujada tèrmica es produïrien per l'expansió tèrmica de les aigües, almenys en una proporció important. GORTNITZ, *et al.* (1982), a escala mundial, xifren en 4 ó 5 cm l'elevació marina per aquesta raó durant el darrer segle.

AGRAÏMENTS

Aquest estudi no haguera estat possible sense la contribució de l'Institut Geográfico Nacional i el Permanent Service of Mean Sea Level (IOS, Bidston) que ens han proporcionat les dades necessàries. Així mateix, agraïm la revisió crítica del text al Dr. Vicenç M. Rosselló i Verger i a la Dra. Eulàlia Sanjaume Saumell.

L'estudi s'ha fet amb l'ajut de la Beca de Formació de Personal Investigador del MEC.

BIBLIOGRAFIA

- AUBREY, D. G., i EMERY, K. O.: (1983): «Eigenanalysis of recent United States sea levels», *Continental Shelf Research*, 2, pp. 21-33.
- BARNETT, T. P. (1983): «Recent changes in sea level and their possible causes», *Climatic Change*, 5, pp. 15-38.
- BARNETT, T. P. (1984): «The estimation of "global" sea level change: a problem of uniqueness», *Journ. Geophys. Res.*, 89, pp. 7.980-7.988.
- BRAATZ, B. V.; AUBREY, D. G. (1987): «Recent relative sea-level change in Eastern North America», *Sea level fluctuation and coastal evolution*, ed. per D. Nummedal, O. H. Pilkey i J. D. Howard. Society of Economic and Mineralogist Special Publication No. 41, pp. 29-46.
- CHARNEY, J. *et al.* (1979): *Carbon dioxide and climate: a scientific assessment*. National Academy of Sciences Press, Washington, D. C.
- CLARK, J. A.; FARRELL, W. E., i PELTIER, W. R. (1978): «Global changes in postglacial sea level: a numerical calculation», *Quaternary Research*, 9, pp. 265-287.
- CNRS (1987): *Deplacements des lignes de rivage en Méditerranée. d'après les données de l'archéologie*, ed. pel CNRS. Aix en Provence 5-7 Sepbre. 1985. Colloques Internationaux.
- EMERY, K. O. (1980): «Relative sea level from tide-gauge records», *Proceedings National Academy of the Sciences, USA*, 77 (12), pp. 6.968-6.972.
- EMERY, K. O.; AUBREY, D. G., i GOLDSMITH, V. (1988): «Coastal neotectonics of the Mediterranean from tide-gauge records», *Marine Geology*, 81, pp. 41-52.
- FAIRBRIDGE, R. W., i KREBS, O. A. (1962): «Sea level and the southern oscillation», *Geophysics Journal*, 6 (4), pp. 532-545.
- FLEMING, N. C., i WEBB, C. O. (1986): «Tectonic and eustatic costal changes during the last 10,000 years derived from archaeological data», *Z. Geomorph. N. Z.*, suppl. Bd. 62, pp. 1-19.
- GORTNITZ, V.; LEBEDEF, S., i HANSEN, J. (1982): «Global sea level trend in the past century», *Science*, 215, pp. 1.611-1.614.

- GORNITZ, V., i LEBEDEFF, S. (1987): «Global sea level changes during the past century», *Sea level fluctuation and coastal evolution*, ed. per D. Nummedal, O. H. Pilkey i J. D. Howard, Society of Economic and Mineralogist Special Publication, No. 41, pp. 3-16.
- GUIENBERG, B. (1941): «Changes in sea level, postglacial uplift, and mobility of the Earth's interior», *Bulletin Geological Society of America*, 52, pp. 721-772.
- HANSEN, J. E., *et al.* (1981): «Climate impact of increasing atmospheric carbon dioxide», *Science*, 213, pp. 957-966.
- HOFFMAN, J. S.; KEYES, D.; TITUS, J. (1983): *Projecting future sea level rise. Methodology, estimates to the year 2100 and research needs*. The Strategic Studies Staff Office of Policy and Resource Management, U. S. Environmental Protection Agency. 121 pp.
- HOFFMAN, J. S.; WELLS, J. B., i TITUS, J. G. (1986): «Future global warming and sea level rise», en P. BRUUN (ed.), *Iceland Symposium '85*, Reykjavik: National Energy Authority, pp. 53-71.
- LISITZIN, E. (1958): «Le niveau moyen de la mer», *Bull. Inf. C. O. E. C.*, 10, pp. 254-262.
- MÖRNER, N. A. (1976): «Eustasy and geoid changes», *Journal of Geology*, 84, pp. 123-151.
- MÖRNER, N. A. (1980): «Eustasy and geoid changes as a function of core/mantle changes», en N. A. Mörner (ed.), *Earth Rheology, Isostasy and Eustasy*, pp. 535-553.
- PIRAZZOLI, P. A. (1986): «Secular trends in relative sea level (RSL) changes indicated by tide-gauge records», *Journal of Coastal Research*, 1, pp. 1-26.
- PIRAZZOLI, P. A. (1987): «Sea level changes in the Mediterranean», *Sea Level Changes*, ed. per M. J. Tooley i I. Shennan, pp. 152-181. Institut of British Geographers.
- PIRAZZOLI, P. A. (1989): «Recent sea level-changes in the North Atlantic», en D. B. Scott, P. A. Pirazzoli i C. A. Honing (eds.), *Late Quaternary Sea-Level Correlations and Applications*, NATO ASI Series.
- PUGH, D. T.; SPENCER, N. B., i WOODWORTH, P. L. (1987): *Data holdings of the Permanent Service for Mean Sea Level*. PSMSL.
- QUEREDA, J., i LÓPEZ, D. (1988): «Oscilaciones del nivel marino en Castellón», *Millars*, 1986-87, 11, pp. 7-16.
- SMAGORINSKY, J. (1982): *Carbon dioxide and climate: a second assessment*, National Academy of Sciences Press, Washington, D. C.
- VIGNAL, J. (1935): «Les changements du niveau moyen des mers, le long des côtes en Méditerranée et dans le monde», *Annales des Ponts et Chaussées*, Paris, 7, pp. 638-681.