

EL OLEAJE Y SUS EFECTOS GEOMORFICOS EN LAS PLAYAS MERIDIONALES DE MALLORCA *

Una controversia originada con ocasión de un trabajo anterior (ROSSELLÓ, 1969) sobre el litoral de Es Trenc, dio pie a la investigación que sigue, en la que se analiza el alcance de los máximos oleajes y su eficacia geomórfica en las costas meridionales de la isla de Mallorca, justificando la línea anteriormente trazada a base de testimonios vegetales y gradientes de playa, con el estudio de un temporal excepcional.

EL OLEAJE ORDINARIO

La longitud de onda

Suele afirmarse que en el Mediterráneo la longitud de onda no sobrepasa habitualmente de 120 a 150 m (LARRAS, 1957), aunque no parece imposible admitir máximos de 200 e incluso más metros, siempre que el *fetch* sea suficiente. IRIBARREN (1954), refiriéndose a observaciones de máximos, da la cifra de 300 m (*fetch* = 1.000 Km ca), observando que los antiguos registros pecan por defecto en las longitudes y por exceso en las alturas, cuya máxima calcula en 7 m. BUTZER (1962), refiriéndose al mar balear, afirma que pocas observaciones sobrepujan los 8 m de altura o la longitud de 50 m, y sus registros personales de las tormentas de otoño de 1960, las cuales alcanzaron de los 6 a 8 grados Beaufort (12 a 18 m/seg), dieron rara vez en mar abierto olas de más de 4 m de altura y longitud superior a 30 m. Nuestras deducciones, sin embargo, permiten aproximarse al máximo antes indicado.

Período y frecuencia están directamente ligados a la longitud de onda por la vieja fórmula de Airy:

$$T = 0'80 \sqrt{L} \quad \text{o} \quad L = 1'56 T^2$$

* Este trabajo se ha efectuado con la Ayuda del Fomento a la Investigación en la Universidad.

aplicable a la «ola de Stokes» irrotacional, la que más se acerca a la realidad, mientras que la expresión

$$T = 0.566 \sqrt{L}$$

corresponde a la ola trocoidal teórica de Gerstner. Ya veremos que el período máximo, según NEUMANN (1953), sería $T_{\max} = 12.1$ seg, $f_{\max} = 0.083$, para un viento de 30 nudos, que tomamos como parámetro de referencia; el período medio $T_{av} = 8.5$ seg en este caso corresponde a una longitud $L = 112$ m y velocidad o celeridad de ola de 13.2 m/seg. La máxima celeridad apreciada por IRIBARREN en el Mediterráneo alcanza 22 m/seg, o sea 79.2 Km/h.

La altura de las olas

IRIBARREN, siguiendo, al parecer, observaciones empíricas y algunas ideas del Hydrographic Office U. S., da para un *fetch* o largo de 300 Km, una altura

máxima de la «ola de cálculo» ($12 \sqrt[4]{F}$) de 4.99 m, cuya longitud sería 207.52 m; peralte, 41.55 ; período, 11.53 , y la celeridad, 17.99 m/seg. STEVENSON atribuye a un *fetch* de 300 Km —es el máximo «largo» o «corrida» que puede cubrir el viento en nuestro caso— 6 m de H_{\max} (altura máxima), mientras BRETSCHNEIDER (1952) admite hasta 12 m y más, como lo hacen DARBYSHIRE-NEUMANN (1953) y GROEN (1967). No obstante, la utilización de una sola variable, el *fetch*, es poco satisfactoria, y los más sencillos procedimientos empíricos movilizan tres datos: velocidad del viento, duración del mismo y *fetch*, con vistas a establecer la altura de la ola y el período T o frecuencia ($1/T$).

En función de un viento de 30 nudos (15 m/seg aproximadamente), PATTON y MARMER (1932) asignan una altura máxima de 6.6 m; CORNISH, de 7.2 m; ROSSBY y MONTGOMERY (1935), de 6.9 m, y SVERDRUP-MUNK (1946), de 5.9 m. Hay que notar que estos dos últimos autores introducen el concepto de *significant waves*, más cercano a la ola media que a la máxima y que lleva las consideraciones a otro terreno más complicado, los espectros de olas, basados en observaciones numerosísimas. La ola significativa resulta de una media efectuada sobre el tercio superior de las olas, las amplitudes y períodos de las láminas mejor formadas. Así, de cien olas sucesivas, se conservan los valores referidos a las treinta y tres olas que tienen los mayores surcos. Bien que sea sinusoidal, esta ola no es «conservadora», pues no mantiene sus características indefinidamente; con todo, su interés práctico en la previsión es notable (LACOMBE, 1965). Así, un viento de 30 nudos, por ejemplo, cubre un intervalo de $f = 0.06$ a $f = 0.21$, o sea $T = 17$ a $T = 5$ seg, y tiene un período máximo de $f_{\max} = 0.083$ o $T_{\max} = 12.1$ seg. Las alturas de la ola pueden ser consideradas en términos de altura media (H_{av}), altura del tercio más alto ($H_{1/3}$) o *significant height*, o de la décima más alta ($H_{1/10}$); la relación entre los dichos valores ha sido hallada a partir de los registros y

teóricamente por LONGUET-HIGGINS (1952), siempre que el espectro sea relativamente estrecho.

$$\frac{H_{av}}{H_{1/8}} = 0'65 \text{ a } 0'625 \quad ; \quad \frac{H_{1/10}}{H_{1/8}} = 1'29 \text{ a } 1'27$$

con lo que se aprecia que la ola media es más baja que la significativa, y ésta, a su vez, menor que la $H_{1/10}$. Queda todavía la expresión

$$H_{max} = 2'4 H_{av}$$

Los valores máximos calculados por NEUMANN (1953) para el viento de 30 nudos, sin limitación de *fetch*, son: $H_{av} = 4'5$ m, $H_{1/8} = 7'2$ m, $H_{1/10} = 9'2$ m y $H_{max} = 10'8$ m.

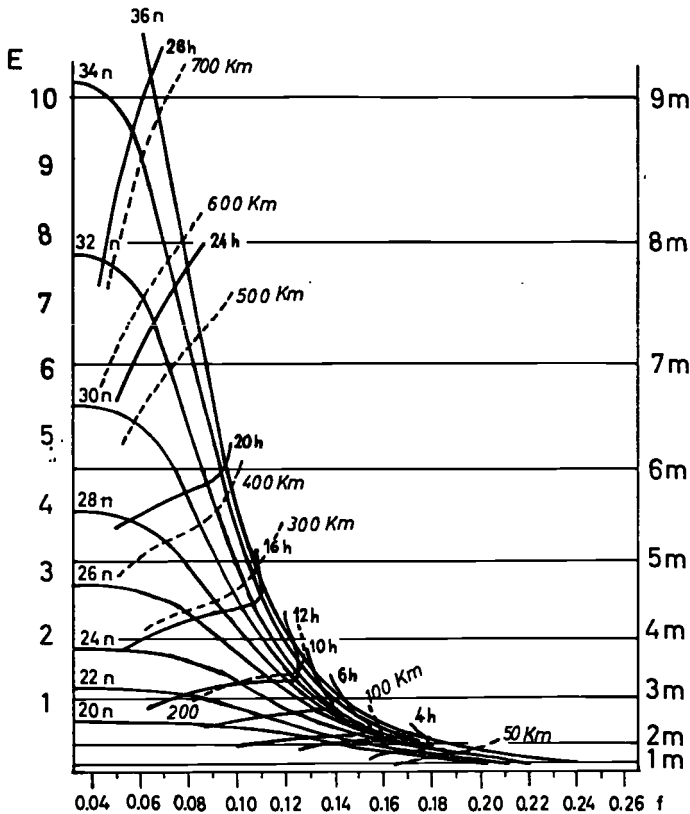


Fig. 1.—Altura significativa de las olas en función de la velocidad del viento, su duración y *fetch* (según NEUMANN, H. O. U. S.; modificado). La energía $E = \bar{a}^2$, siendo \bar{a} el valor cuadrático medio de la amplitud de los movimientos. La frecuencia $f = 1/T$, o sea el inverso del periodo.

La mayoría de cálculos y ábacos publicados se refieren a la altura *significativa* ($H_{1/3}$), cuya diferente evaluación podemos inferir de este ejemplo para un viento de 30 nudos y un *fetch* de 50 millas:

	$H_{1/3}$
SVERDRUP (1947), MUNK (1947), BRETSCHNEIDER (1952)	3'4 m
PIERSON (1955), NEUMANN (1955), JAMES (1955)	2'2 m
DARBYSHIRE (1957)	2'5 m

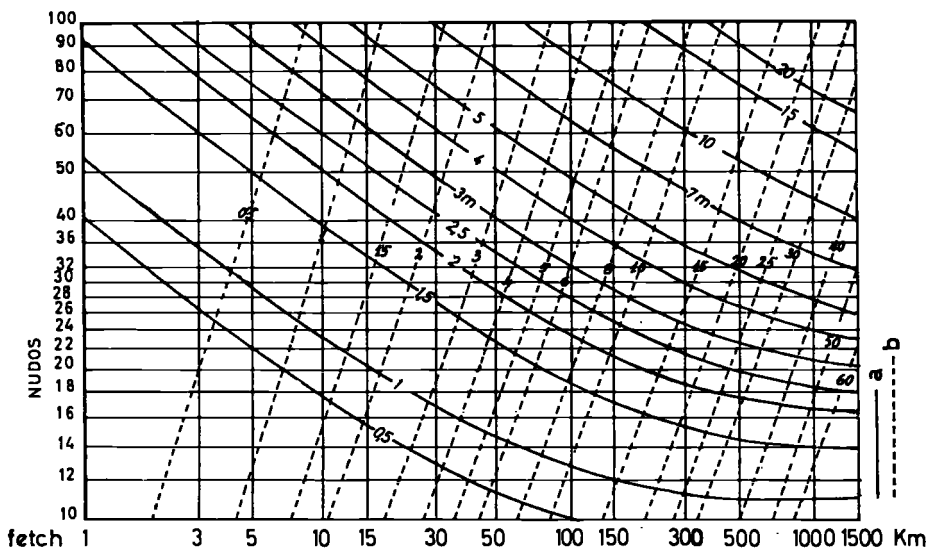
KING (1964) reconoce que las valoraciones de NEUMANN son excesivamente reducidas; sin embargo, las utilizo para base de mi argumentación. Tomando como pie el período significativo ($T_{1/3}$) de un viento de 30 nudos, que debe estar comprendido entre 4'7 y 16'7 seg, la longitud de onda puede oscilar entre 24 y 300 m; entonces el *fetch* de 300 Km condiciona alturas de ola ligeramente inferiores a las establecidas más arriba:

$$H_{av} = 4'1 \text{ m}; H_{1/3} = 6'6 \text{ m}; H_{1/10} = 8'4 \text{ m}, \text{ y } H_{max} = 9'8 \text{ m}$$

Los tres valores últimos de ambas estimaciones son superiores al de la ola máxima de IRIBARREN (1954). Aún quedaría la posibilidad de considerar «olas de tempestad» y trenes de olas superpuestos.

La acción del oleaje

Sin entrar en cálculos o diagramas de presiones de la ola rota, conviene anotar que la profundidad crítica, o sea la máxima profundidad afectada por



la acción apreciable del oleaje, no supera la mitad de la longitud de onda. Si barajamos, por término medio, longitudes del orden de los 50 m, sabemos que la plataforma epicontinental, más allá del veril —25 m, está prácticamente al margen del efecto geomórfico del oleaje.

El rompiente, según SVERDRUP y GUILCHER (1965), se produce cuando la relación profundidad/altura está entre 1'1 y 1'5. La energía de la onda de traslación es considerablemente inferior a la de la ola en mar abierto, y en el caso de un estrán arenoso muy inclinado, la mayor parte de su potencia es absorbida en el roce y transporte alternativo de los materiales, que prácticamente no modifican los rasgos del litoral, ni siquiera en detalle, más que en caso de temporales excepcionales. En las tempestades intensas hay que contar además, en nuestra zona, con el papel de freno de las fibras de *Posidonia* y *Zostera*, que pueden llegar a constituir una especie de papilla que, junto con las banquetas depositadas, protege eficazmente el litoral (SCHÜLKE, 1968; ROSELLÓ, 1969).

EL TEMPORAL DEL 18 DE DICIEMBRE DE 1968

Los datos

Parece ser que el temporal que ha dado pie a esta nota es uno de los mayores, si no el mayor, que han atacado perpendicularmente el litoral de Es Trenc e inmediaciones en los últimos veinte años. Sólo una estadística, día por día, del citado período podría conferir una certeza absoluta de tal suposición; no obstante, creo suficiente dar el resultado de mis rápidas pesquisas.

Por su decisiva influencia en el oleaje, se transcriben del *Boletín Diario del Servicio Meteorológico Nacional*, XVII (1968), números 331, 332, 333 y 334, los datos de vientos de las tres estaciones más cercanas, desde las doce horas del día 15 de diciembre de 1968 a las dieciocho horas del 18 de diciembre de 1968:

Aeropuertos	Dirección en grados y velocidad en nudos			
	0 h	6 h	12 h	18 h (TMG)
<i>Día 15-12-1968</i>				
Son Santjoan			280 - 16	240 - 05
Mahón			280 - 19	250 - 19
Es Codolar (Ibiza)			260 - 20	240 - 22
<i>Día 16-12-1968</i>				
Son Santjoan	240 - 35	240 - 20	240 - 33 ?	240 - 34
Mahón	250 - 26	260 - 29	250 - 26	250 - 26
Es Codolar	250 - 26	240 - 22	240 - 28	280 - 40
<i>Día 17-12-1968</i>				
Son Santjoan	250 - 36	240 - 40	240 - 35	240 - 22
Mahón	240 - 26	280 - 35	250 - 32	250 - 23
Es Codolar	270 - 24	270 - 30	240 - 24	240 - 26

Aeropuertos	Dirección en grados y velocidad en nudos			
	0 h	6 h	12 h	18 h (TMG)
<i>Día 18-12-1968</i>				
Son Santjoan	240 - 18	240 - 28	240 - 30	270 - 10
Mahón	250 - 29	250 - 33	300 - 14	Calma
Es Codolar	240 - 24	280 - 22	280 - 20	280 - 18

La media de las velocidades registradas por los anemocinémógrafos de los referidos observatorios desde el día 16 hasta la mañana del 18, lapso en que se supone una particular eficacia morfogenética del temporal, fue de 30 nudos, o sea 15'3 m/seg, en la estación más cercana; esta velocidad otorga la categoría de fuertes (más de 54 Km/h) a los vientos de referencia. Los vientos fuertes de otras zonas litorales mediterráneas muy próximas (ROSSELLÓ, 1963 y 1969) alcanzan sólo una proporción del 0'1 al 0'5 % anual en el período de 1949 a 1962. Este porcentaje comprende toda la rosa de los vientos; teniendo en cuenta los que pueden afectar el litoral, el porcentaje se reduce a 0'2 ó 0'1 %. Sirva ello para destacar la categoría del temporal descrito. Los observatorios de Mahón e Ibiza no dan medias muy inferiores: 28'5 y 26'6 nudos, respectivamente.

Es básico observar que el día 17 hay lecturas de 35, 36 y 40 nudos, lo cual sugiere rachas superiores a los 40 y, posiblemente, a los 45, auténtico vendaval. Además de la dureza del viento y en relación a la generación de olas, hay que notar que sopló constantemente a más de 20 nudos durante más de 48 horas, tiempo sobrante para engendrar trenes de olas de máxima energía. Pero es aún más digna de tener en cuenta la dirección constante de N 240°, precisamente normal al tramo litoral, objeto de controversia.

En resumen, se trata de uno de los temporales de máxima eficacia posible para esta costa, por su energía, duración y dirección. Resulta, por tanto, imposible catalogarlo como «ordinario» y, menos, como pequeño o de olas de 1/3 de las máximas, como se hizo en ciertos informes técnicos.

La situación atmosférica

Insistiendo en este carácter muy excepcional, no puedo menos de referirme a los detalles de la dinámica atmosférica. El día 15, al descender de latitud la corriente del NW de los altos niveles y, a la vez, al aproximarse y extenderse la depresión atlántica en superficie, los vientos aumentaron notablemente, primero en el NW de la Península y luego en el resto de España; del día 16 al 18 los vientos son fuertes y persistentes, ya que las isobaras se mantienen en coincidencia casi perfecta con los paralelos y los gradientes sobre el área de las Baleares superan en algún momento los 2'5 milibares. Durante estos tres días el centro de la profunda borrasca (964 ó 968 mb) apenas se desplazó 1.000 Km desde el W de Irlanda al S de la Gran Bretaña, por lo

que la situación sinóptica se mantuvo muy estable, con afluencia masiva y constante de vientos de componente oeste sobre la región balear.

Esta situación de vientos fue la más notable del año en todo el territorio español (*Resumen Anual del Boletín Diario del S. M. N.*, 1968) y se caracterizó por «la intensidad y principalmente persistencia en casi todas las regio-

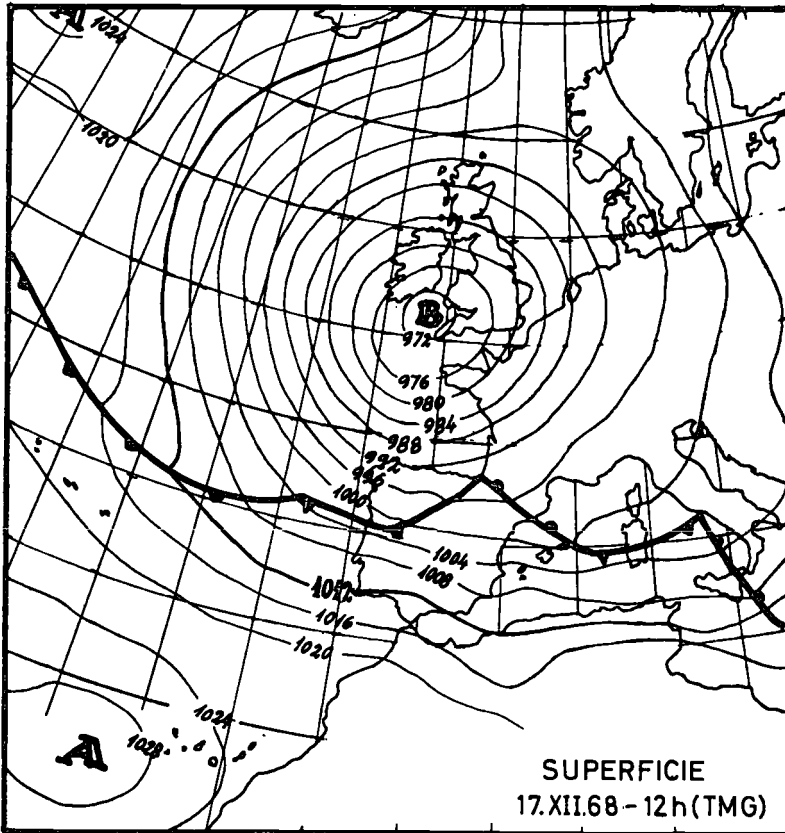


Fig. 3.—Situación sinóptica

nes peninsulares. Los vientos fueron particularmente intensos en Norte de Galicia, puntos del Centro y Duero, SE y Baleares. Los días 16 y 17, en que se registran los vientos más fuertes y persistentes, una gran depresión se extiende desde el E de Groenlandia hasta el Mediterráneo occidental. Las ondulaciones de un frente frío tocan las costas cantábricas; el oleaje en Great Sole, Finisterre y San Vicente supera los 8 m de altura a las doce horas del día 17, mientras que alcanza los 4 m en torno al archipiélago balear. Las cartas de 500 mb nos muestran una depresión centrada sobre Irlanda o la

Bretaña francesa y un brazo del chorro atlántico que cruza zonalmente la Península y sobre la vertical de las Baleares, dejando a su derecha una amplia dorsal anticlónica.

La comparación con otras situaciones de vientos fuertes y persistentes ocurridas desde el año 1950 a 1968, muestra que ni en 4-8 de noviembre de 1951

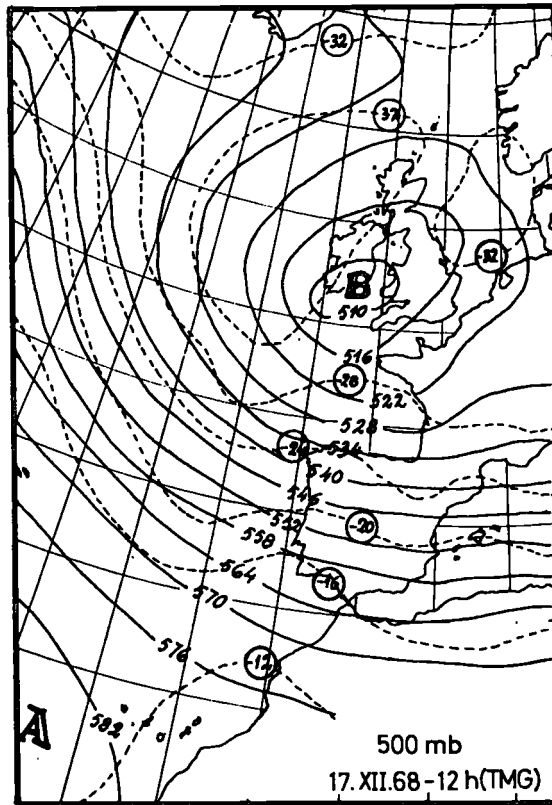


Fig. 4.—Situación en altura

ni en 26-30 de diciembre de 1951 ni en 9-11 de febrero de 1953 se alcanzaron las velocidades y la persistencia de 1968. En el primer caso se registraron ráfagas fuertes, pero no persistentes; en el segundo, los vientos del W evolucionaron a NW, cosa que ya sucede de entrada en el tercer caso. En todos ellos el viento máximo se registró horas antes del paso del frente frío; en el caso discutido pasan sendos frentes a las doce horas del día 17 y a la misma hora del 18 de diciembre de 1968.

En la memoria de los marineros locales estaban los temporales de otoño de 1960, que, sin duda, fueron inferiores —como se ha dicho— a los comen-

tados. Los vientos del 28 de octubre de 1960 alcanzaron desde el SW 20 nudos en Palma de Mallorca, 21 en Mahón y 35 en Ibiza; a las seis horas del día siguiente, 25, 33 y 18 nudos, respectivamente, habiendo ya girado a NW en Ibiza, con notable atenuación. Ni la intensidad ni la duración son comparables a los anteriores vientos. En todos los restantes registros del último cuatrimestre de 1960 no se ha podido encontrar viento alguno que supere los 30 nudos, salvo alguna *tramuntanada* en la isla de Menorca (9 de diciembre de 1960).

Los efectos geomórficos

La línea de máximo alcance de los temporales (ROSSELLÓ, 1969) fue rebasada en ciertos casos por las olas extraordinarias de diciembre de 1968. En efecto, algunos restos marinos aparecieron tierra adentro, pero su naturaleza no permite asegurar si se trató de lenguas de agua o, más bien, de que los materiales, como el alquitrán, la madera, las fibras de *Posidonia*, las egagropilas y los plásticos —de escasa densidad—, fueron proyectados por el viento desde la cresta del rompiente. El cadáver de un delfín, de hecho, fue depositado 6 ó 7 m delante de un *blockhaus*, en la misma playa, y no detrás de la primera línea de dunas.

El oleaje en cuestión —de ser suficientemente cuidadosa una peritación oficial— marcó una línea rigurosamente paralela a la anteriormente señalada (ROSSELLÓ, 1969) y, en la inmensa mayoría de los casos, por debajo de la misma. La *caoudèyre* de origen eólico exactamente orientada al W, entre los hitos 64 y 66, no supo aprovecharla el temporal supradicho.

La presencia de la vegetación arbórea (*Pinus halepensis*, *Iuniperus phoenicea*, *Tamarix gallica*) y arbustiva (*Pistacia lentiscus*) es un criterio bastante sólido para discernir el alcance de «las mayores olas de los temporales ordinarios»¹. Si la primera línea de dunas fuera inconsistente y movediza, desaparecería ante los embates del oleaje ordinario; ahora bien, un cambio secular de las condiciones climáticas sí que podría afectarla.

BIBLIOGRAFIA

- BRETSCHNEIDER, C. L. (1952), *The generation and decay of wind waves in deep water*, «Trans. Am. Geoph. Un.», 33-3, pp. 381-389.
- BUTZER, KARL W. (1962), *Coastal geomorphology of Majorca*, «Ann. of the Assoc. of Amer. Geographers», vol. 52, núm. 2, pp. 191-212.
- GROEN, P. (1967), *The Waters of the Sea*, London, Van Nostrand, xiv + 328 pp.
- GUILCHER, ANDRÉ (1965), *Précis d'hydrologie marine et continentale*, Paris, Masson, 389 pp.
- IRIBARREN CAVANILLES, RAMÓN (1954), *Obras marítimas. Oleaje y diques*, Madrid, Dossat, 376 pp. y un volumen de gráficos.
- KING, CUCHLAINE A. M. (1961), *Beaches and Coasts*, London, Arnold, xii + 403 pp.
- KING, CUCHLAINE A. M. (1964), *Oceanography for Geographers*, London, Arnold, xii + 337 páginas.

¹ Ley de Costas de marzo de 1969, vigente. Art. 1.º

- LACOMBE, HENRI (1965), *Cours d'océanographie physique*, París, Gauthiers-Villars, 392 páginas.
- LARRAS, J. (1957), *Plages et côtes de sable*, París, Laboratoire National d'Hydraulique, 117 pp.
- LONGUET-HIGGINS, M. S. (1952), *On the statistical distribution of the heights of sea waves*, «*Journ. Mar. Res.*», XI, 3, pp. 245-266.
- NEUMANN, G. (1953), *An ocean wave spectra and a new method of forecasting wind generated sea*, «*Beach Erosion Board Tech. Memor.*», 43.
- ROSSELLÓ VERGER, VIC. M. (1963), *Notas preliminares a la morfología litoral del norte de Valencia*, SAITABI, XIII, pp. 105-144.
- ROSSELLÓ VERGER, VIC. M. (1964), *Mallorca. El Sur y Sureste*, tesis, Palma de Mallorca, Cámara de Comercio, Industria y Navegación. xviii + 543 pp.
- ROSSELLÓ VERGER, V. M. (1969), *El litoral de Es Trenc (S de Mallorca)*, «*Anales Univers. Murcia*», vol. XXVII, 1-2. Filos. y Letras (1968-69), pp. 223-242 + iv láminas y un encarte.
- ROUCH, J. (1948), *Traité d'océanographie physique*, III. Les mouvements de la mer, París, Payot, 413 pp.
- SCHUELKE, HORST (1968), *Quelques types de dépressions fermées liées à l'action destructive de la mer (Bretagne, Corse, Asturies)*, «*Norois*», núm. 57, pp. 23-42.
- SVERDRUP, H. U.; JOHNSON, MARTIN W.; FLEMING, RICHARD H. [1942 (1946)], *The Oceans. Their Physics, Chemistry and general Biology*, Englewood Cliffs, Prentice Hall., x + 1.087 pp.
- SVERDRUP, H. U.; MUNK, W. H. (1947), *Wind, sea and swell — theory of relationships in forecasting*, «*Hydr. Off. Pub.*», 601, U. S. Navy Dept.