

2.2. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

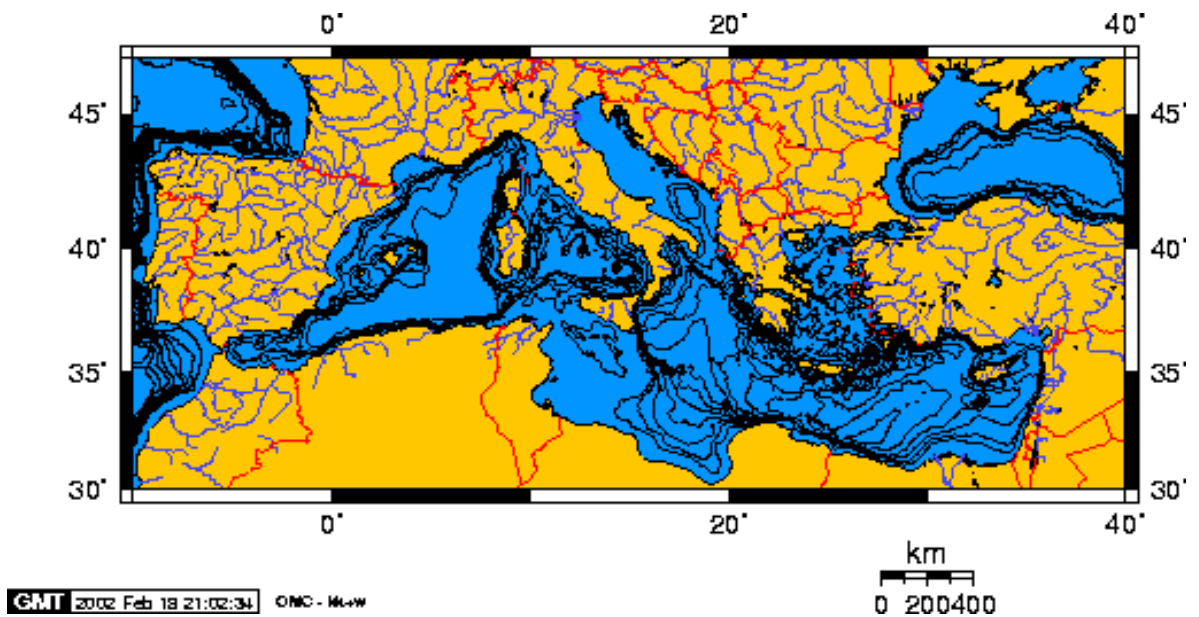


Figura 2.2.1. Mapa del Mar Mediterráneo con batimetría y los ríos principales de la cuenca; creado mediante *Generic Mapping Tools* de P. Wessel (*School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii at Manoa*) and W. H. F. Smith (*Geoscience Laboratory, NOAA, N/OES12*).

2.2.1. Breve descripción físico-geográfica del Mar Mediterráneo

El mar Mediterráneo (Figura 2.2.1) es un mar semicerrado, que se comunica por su lado occidental con el océano Atlántico a través del estrecho de Gibraltar (la profundidad mínima es de 320 m) y por su lado oriental a través del estrecho de los Dardanelos (la profundidad mínima es de 57 m) con el mar de Mármara, después a través del Bósforo (la profundidad mínima es de 37 m) con el mar Negro. También el Mediterráneo tiene un acceso a la región del golfo Pérsico a través del canal de Suez.

El Mar Mediterráneo cubre una extensión de unos 2.510.000 Km². Tiene una longitud de este a oeste de 3.860 Km y una anchura máxima de 1.600 Km. En general es poco profundo (1.500 m de media), el Mediterráneo alcanza una profundidad máxima de 5.150 m frente a la costa sur de Grecia.

El Mediterráneo es un resto del antiguo y extenso mar llamado Tethys, que desapareció casi totalmente por un cierre tectónico de placas en el oligoceno, hace 30 millones de años, cuando las placas africana y euroasiática entraron en colisión. Las placas continúan acercándose, provocando erupciones en volcanes como el Etna, el Vesubio y el Stromboli, todos ellos en Italia, y originando frecuentes terremotos que han devastado partes de Italia, Grecia y Turquía.

Una barrera subterránea desde Túnez a Sicilia (15 grados de longitud Oeste aproximadamente) divide el Mediterráneo en dos grandes cuencas: la oriental y la occidental. Hay otra barrera subterránea entre España y Marruecos a la salida del Mediterráneo, con sólo 320 m de profundidad, restringe la circulación a través del angosto estrecho de Gibraltar, reduciendo, por lo tanto, las diferencias de nivel de las mareas lo que, junto con el alto nivel de evaporación, hace que el Mediterráneo sea mucho más salino que el océano Atlántico.

Malta y Sicilia han dominado la navegación mediante los canales, estratégicamente situados, de Sicilia y de Mesina. Entre otras islas importantes destacan las islas Baleares (España), Córcega (Francia), Cerdeña (Italia), Chipre y las islas Jónicas, Cícladas, las del Dodecaneso y las del Egeo (Grecia).

Los brazos del Mediterráneo oriental incluyen el mar Adriático, que se extiende entre Italia y la península Balcánica; y los mares Egeo y Jónico, frente a la Grecia peninsular. En el Mediterráneo occidental también se puede distinguir algunas notables regiones geográficas como son el mar Tirreno, situado frente a las costas occidentales de Italia, el mar Balear, entre las costas de Cataluña y las islas Baleares, el golfo de León, el golfo de Génova y el mar de Alquerías al frente de las costas africanas. Aún el Mediterráneo occidental se divide en dos cuencas importantes: en la parte este está la cuenca de Baleares (la profundidad máxima es 2.800 m) y en la parte oeste - la cuenca de Tirreno con la profundidad máxima de 3731 m (Defant, 1961).

Barcelona, Marsella, Génova, Trieste, Alejandría y Haifa son los puertos más importantes del Mediterráneo y los principales ríos que desembocan en este mar son el Ebro, el Ródano, el Po y el Nilo.

2.2.2. Particularidades físico-geográficas del Mediterráneo Noroccidental

La zona marina del Mediterráneo Noroccidental analizada de forma más detallada se localiza al Este y al Nordeste de las costas de Cataluña y está situada entre el Delta del Ebro el Cabo de Creus, el Golfo de León, Marseille, Toulon y las Islas Baleares y ocupa un área acuática de 108.000Km² aproximadamente.

Climatología de la zona, fenómenos meteorológicos típicos

Todo el Mediterráneo Occidental queda durante el verano al Este del anticiclón atlántico de las Azores. En invierno, debido a la situación mucho más meridional de las altas presiones atlánticas, la actividad ciclónica afecta de pleno el tiempo del Mediterráneo, llevando lluvias y frentes. El clima de la región es templado, con inviernos moderados y lluviosos y con veranos calurosos y secos (Planeta/Rand McNally, 1995).

Habitualmente los frentes, la mayoría de origen atlántico, pasan el área estudiada en dirección noroeste - sudeste (NW - SE), mientras que las depresiones o ciclones tienen origen y dirección muy variable.

La temperatura del aire en el litoral de Barcelona tiene su máximo en el mes de agosto (23^o - 24^o C) y mínimo en enero (9^o - 10^o C). La evolución mensual de la temperatura superficial del agua, lógicamente, tiene un carácter parecido con un máximo en agosto de 22,7^o C, y con un mínimo invernal en febrero 12,4^o C. (Cunillera y Pascual, 1999).

En el Mediterráneo Occidental, en invierno, los vientos del Este se observan con mayor frecuencia que los vientos del Oeste, ocurriendo lo contrario en verano (Derrotero de las Costas del Mediterráneo, 1991).

Las direcciones más frecuentes del viento en el litoral de Barcelona son de NE - E y SSW - W, dependiendo de la temporada, con velocidades medias, inferiores a 4 m/s tal como se muestra en la figura 2.2.1 (izquierda) realizada a base del análisis estadístico de los datos de período 1994-1998 de la estación de Barcelona (el Barcelonès) del *Servei de Meteorologia de Catalunya*. La figura 2.2.1. (derecha) muestra los resultados gráficos del análisis realizado para la estación meteorológica de Vilanova y Geltrú. La dirección principal del viento es *NNW-SSE* y *NE-WNW* en esta estación, pero con viento muy débil.

En general podemos concluir que la orografía es el factor principal en la determinación del régimen eólico en el litoral del Mar Balear.

Los vientos locales causados por las condiciones orográficas y las borrascas que cruzan el Mediterráneo, como por ejemplo "Cierzo del NW", tienen una cierta importancia.

Los factores eólicos influyen también en la circulación de las aguas marinas, siendo necesario resaltar la extraordinaria importancia de los regímenes de brisas de mar y tierra. Las células convectivas típicas de brisa varían en dimensiones y propiedades, básicamente en función de la época del año (magnitud del gradiente térmico tierra-mar), siendo las más notables las de primavera y verano, si bien se presentan con regularidad durante todo el año. Periódicamente se observa brisa de tierra hacia mar (terral) que sopla del N-NW durante la noche, y una brisa de mar a tierra (marinada) que sopla del S-SW durante el día.

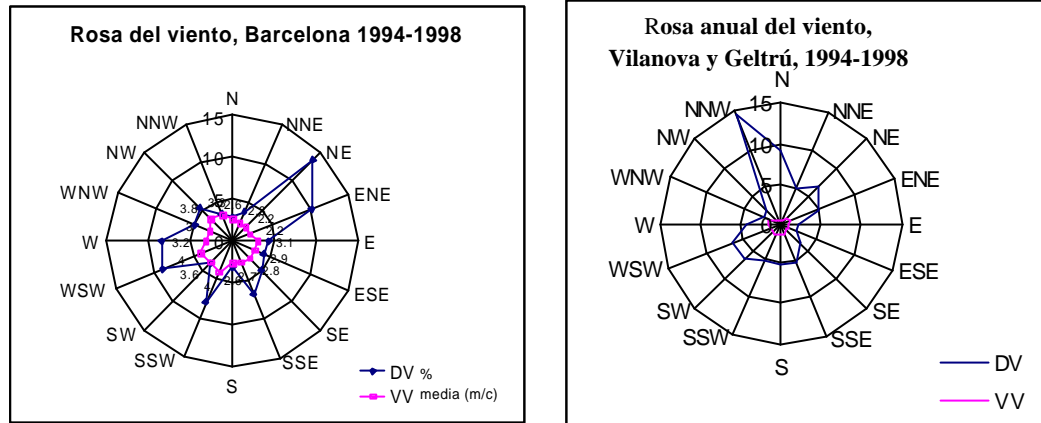


Figura 2.2.2. Rosa anual del viento según los datos de la estación meteorológica Barcelonés (Barcelona) (izquierda), 1994-1998 y de la estación en Vilanova y Geltrú (derecha) de mismo período. DV - dirección del viento en por ciento VV - velocidad media del viento en esta dirección en m/s

Tabla 2.2.1. Modificaciones medias del clima inducidas por la urbanización. Fuente: Acebillo et al., 2000.

Elementos	Comparación con el ambiente rural
Contaminantes - Núcleos de condensación y partículas - Mezclas de gases	10 veces más de 5 a 25 veces más
Nubosidad y nebulosidad - Nubes - Brumas de invierno - Brumas de verano - Nieblas espesas	del 5 al 10% más 100% más 30% más menos frecuentes
Precipitaciones - Total - Días con más de 5mm/24 horas - Nieve	del 5 al 105% más 10% más 5% menos
Humedad relativa - Invierno - Verano	2% menos 8% menos
Radiación - Total - Ultravioleta (invierno) - Ultravioleta (verano) - Duración de la insolación	del 15 al 20% menos 30% menos 5% menos del 5 al 15% menos
Temperatura - Media anual - Mínima de invierno (media) - Grados día	de 0,5 a 1,5 °C más de 1 a 2 °C más 10% menos
Velocidad del viento - Media anual - Ráfagas máximas - Calmas	del 20 al 30% menos del 10 al 20% menos del 5 al 20% más

Las borrascas que se generan o reactivan en el Mediterráneo occidental envían vientos cálidos y cargados de humedad hacia la costa. Estos vientos de levante ascienden por los relieves montañosos condensándose rápidamente y desencadenando fuertes lluvias. En estas condiciones, la presencia de una “Gota fría” o de un frente de aire frío puede originar que las precipitaciones se vuelvan torrenciales. Los temporales de otoño afectan a menudo a grandes extensiones del territorio catalán y las crecidas se producen simultáneamente en diversas cuencas fluviales, lo que hace que, en la desembocadura de los cursos principales, los caudales sean extraordinarios.

Los días despejados según los datos de la estación meteorológica del Aeropuerto El Prat (Barcelona) del Instituto Nacional de Meteorología en el período del análisis estadístico de 1961-1990 no sobrepasan los 71,8 días, que constituye solamente el 20% de un año completo. Solamente estos datos no pueden caracterizar estadísticamente las condiciones de nubosidad en todo el área del Mar Balear, pero pueden dar una idea aproximada de la dificultad de obtener con suficiente periodicidad imágenes de satélites en el espectro visible sin presencia significativa de nubes en esta región. El mínimo anual de precipitaciones se observa en el período de verano (julio), mientras el primer máximo tiene lugar en otoño (octubre) y existe otro máximo en primavera (mayo).

Es interesante resaltar las diferencias climáticas generales entre las zonas de urbanización y áreas rurales en Cataluña (Tabla 2.2.1)

Red hidrográfica de la zona costera

También es necesario considerar la aportación de aguas dulces procedentes de los ríos principales en la zona costera. Los ríos más importantes de la región estudiada son Rhone y Ebro. Los ríos de menor caudal (desde Sur hacia Norte) son el Ebro, el canal de la Central Nuclear de Vandellòs, la riera Riudecanyes, el Franciolí, el Gaià, el Foix, el Llobregat, el Besòs, la Tordera, el Ridaura, el Daró, el Ter, el Fluvià, la Muga (figura 2.2.3) y en el territorio francés: el Tech, el Agly, el Aude, el Orb y el Hérault.



Figura 2.2.3. Principales ríos de Cataluña.

Fuente: Generalitat de Catalunya, Secretaria de Medio Ambiente y Sociedad General de Aguas de Barcelona.

Los ríos forman una capa superficial de aguas dulces en las zonas costeras de mayor o menor importancia, lo que depende de su caudal, y tienen un papel muy importante en los procesos de estratificación y mezcla de aguas, en la formación de las corrientes locales y en la distribución de

contaminantes y sedimentos procedentes de la tierra. A pesar de que el caudal del río puede ser insignificante en su valor medio diario, en tiempo de lluvia intensa el volumen del agua fluvial aumenta muy significativamente en cuestión de minutos, lo que aporta una “limpieza” total de todos los residuos urbanos de las calles y, a través de tuberías de saneamiento, provoca un vertido de aguas residuales al mar. Los temporales de otoño originan las crecidas de mayor magnitud y virulencia. Provocan lluvias que alcanzan los 100 mm/h y que pueden descargar 200 o 300 mm en el intervalo de algunas horas. Por ejemplo, en el año hidrológico de 1996-1997, el Río Llobregat en su tramo en Sant Joan Despí tuvo un caudal medio diario de 41.60 m³/s, pero el día 18 de noviembre de 1996 se observó un valor máximo de 774 m³/s (datos de la *Agencia Catalana de l'Aigua, Servei d'Hidrologia*). Otro ejemplo, el Río Llobregat en su tramo en Montorell tiene un caudal medio diario de 20.77 m³/s, pero el día 30 de septiembre de 1912 se registró el caudal máximo de 1527 m³/s según los datos de la Secretaría de Medio Ambiente de la *Generalitat de Catalunya* (<http://www.gencat.es/mediamb/cdades.htm>).

Batimetría del fondo marino, cañones submarinos y los fenómenos asociados



Figura 2.2.4. Batimetría del Mediterráneo Noroccidental. Isobatas de 50, 200, 600, 1.000, 1.400, 1.800, 2.200 y 2.600 m.

La topografía del fondo marino es bastante complicada. Con una estrecha plataforma continental en el norte de la región y cerca de las Islas Baleares y una zona relativamente amplia de la misma en el sur

cerca del Delta del Ebro, ambas están penetradas por una serie de cañones submarinos, tales como los del Foix, Blanes, Palamos, Creus y Lacaze.. Las profundidades máximas son aproximadamente de 2.800m según se ve en la figura 2.2.4. y 2.2.5.

Los cañones submarinos tienen un papel muy importante en la dinámica de la zona en mesoescala participando en la formación y transformación de los vórtices, lo que vamos a ver más adelante en el capítulo donde se discute más el tema de vórtices y giros en el MN (Ardhuin et al., 1999, Rojas et al., 1995).

Otro fenómeno importante asociado con los cañones es el transporte de sedimentos y de desechos urbanos hacia la plataforma abisal. Dicho material se acumula en la parte adyacente del cañón y con el tiempo, bajo la acción de su propio peso, se transporta a profundidad mediante el lecho del cañón. A veces este desplazamiento de masas de fango y sedimentos en suspensión acontece con mucha rapidez, lo que provoca cortes de los cables de comunicación causa daño a las tuberías de oleoductos, etc. (Leont'ev et al., 1973).

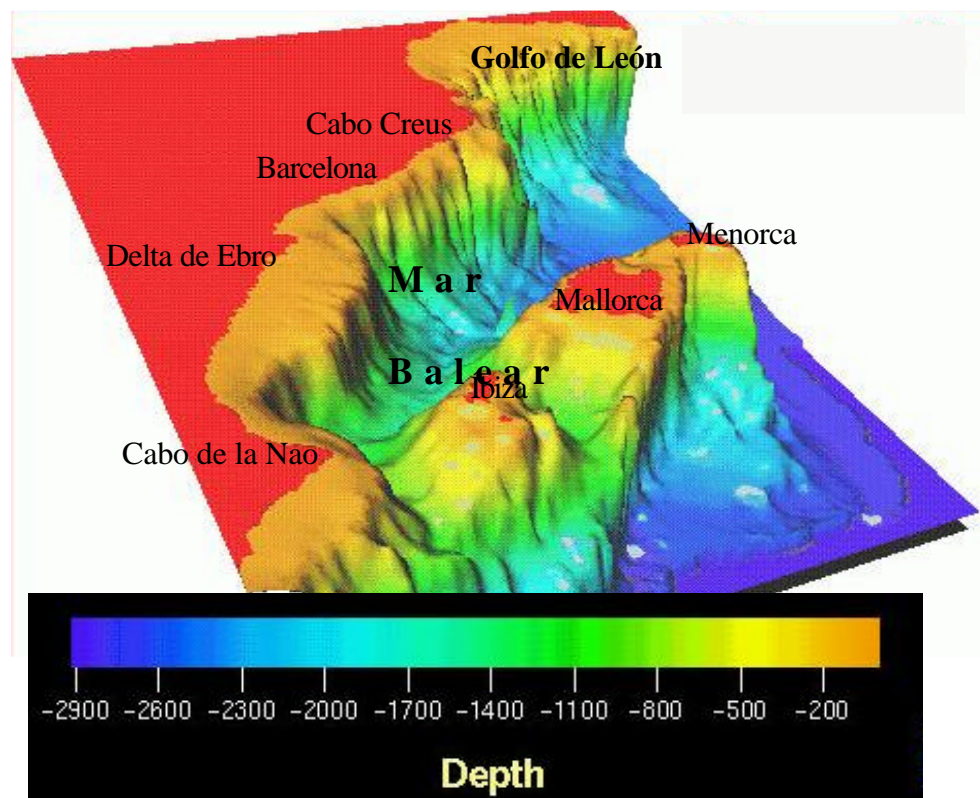


Figura 2.2.5. Presentación 3D de la batimetría del Mar Balear y Golfo de León. Fuente (J.Tintorè, IMEDEA, Palma de Mallorca).

Dinámica de la zona marina y particularidades oceanográficas, corrientes *principales* y *hidrografía de aguas*

En la circulación superficial de las aguas, predomina el flujo ciclónico formado por la Corriente *Liguro-Provenzal* que se propaga a lo largo de las costas del Mar Balear y de Valencia y sus ramas, que a la latitud de Cabo de la Nao, viran hacia las Islas Baleares (Germán,1996) (Figura 2.1.3). También existen las corrientes locales de menor escala, que determinan la dinámica superficial de la zona litoral.

La mayor parte de las corrientes superficiales del MN normalmente no alcanzan velocidades mayores de 1-2 nudos (0,5 - 1.0 m/s) (Derrotero de las Costas del Mediterráneo).

Una de las propiedades hidrográficas interesantes de la región es la presencia de dos frentes marinos estacionarios (Frentes Catalán y Balear) en la frontera entre la plataforma continental y el talud continental caracterizados en primer lugar por considerables diferencias de salinidad de las aguas (Font et al., 1988). Como ejemplo, las aguas superficiales son menos saladas en la plataforma (37,3 - 37,5 psu) (Rojas, 1995) y más saladas en el mar abierto (con unos valores de salinidad de hasta 38.0 psu, aproximadamente) (Germán, 1996). En La Violette et al. (1990) se subraya el papel principal que juegan los frentes antes referidos en el control de la circulación local de aguas marinas.

En Tintorè et al. (1990) y en La Violette et al. (1990) se observa la presencia de los penachos de agua fría en el Golfo de León y sus filamentos al Sur - Sudeste del Cabo Begur cuya situación espacial está directamente relacionada con los cañones submarinos del área.

Tabla 2.2.2. Temperatura del Mar Balear cerca de las Islas Medas. Fuente: Servei de Meteorologia de Catalunya.

profundidad	enero	feb	marzo	abr	mayo	jun	jul	agosto	sep	oct	nov	dic	año
superficie	12.6	12.4	12.5	13.4	15.4	18.8	21.5	22.7	21.1	18.5	16.2	13.8	16.6
20 metros	12.8	12.5	12.4	12.9	14.5	17.1	19.3	20.7	20.1	18.2	16.2	14.0	15.9
50 metros	12.9	12.5	12.4	12.7	13.6	14.4	14.5	14.8	15.9	17.0	16.0	14.1	14.2
80 metros	12.9	12.5	12.4	12.6	13.2	13.2	13.4	13.5	13.8	14.9	15.3	14.0	13.5

La temperatura media mensual del agua del mar (medida en grados Celsius) a distintas profundidades a partir de una serie de medidas del periodo 1974-1997 en las Islas Medas (el Baix Empordà) se presenta, como ejemplo en la tabla 2.2.2 y de forma gráfica en las figuras 2.2.6 y 2.2.7.

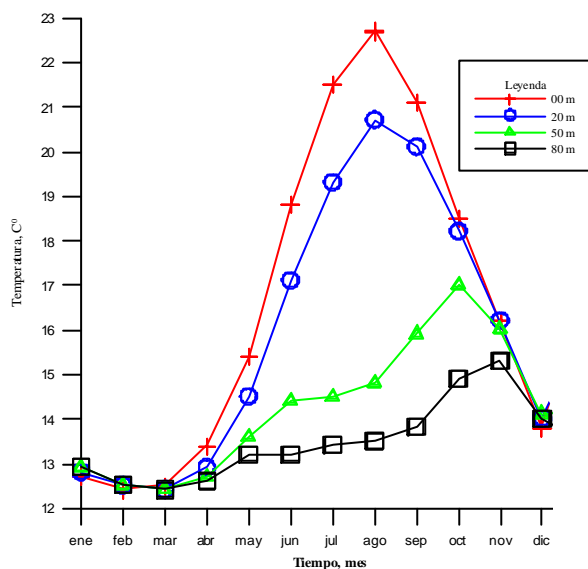


Figura 2.2.6. Evolución de la temperatura media mensual a diferentes profundidades (0, 20, 50 y 80 m), Islas Medas, 1974-1997.

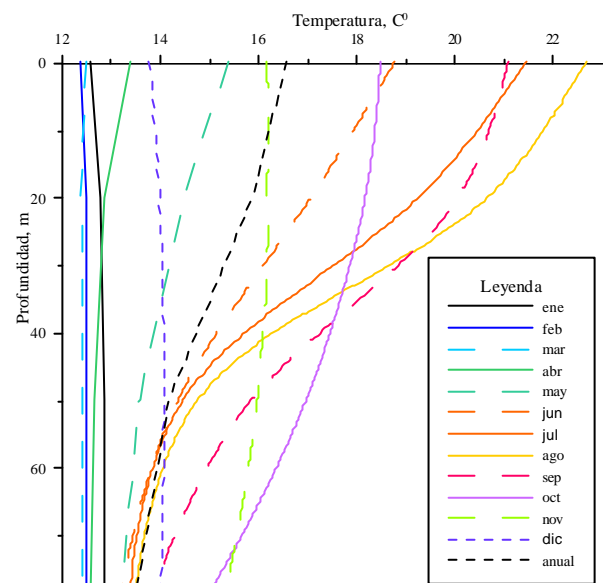


Figura 2.2.7. Distribución vertical de las temperaturas medias mensuales, Islas Medas, 1974-1994.

Las figuras 2.2.6 y 2.2.7 muestran la magnitud del cambio anual de la temperatura del agua en distintas profundidades. El mayor cambio de temperatura, 10.2°C , se observa en la superficie y el menor,

de 2.9 °C, en la profundidad de 80 m (profundidad máxima de mediciones realizadas). En cuanto a la estratificación: el mayor gradiente se observa en la termoclina situada entre 20 y 50 m aproximadamente, en el mes de agosto (-0,207 °C/m) siendo el gradiente muy pequeño en febrero y marzo. La complicada topografía del fondo marino, las descargas naturales de los ríos de agua dulce, la existencia de varios fenómenos hidrográficos como los frentes marinos y la circulación permanente de masas de aguas, y también la influencia atmosférica asociada con el paso de los frentes, forman en la región investigada una hidrodinámica compleja, que posee casi toda la diversidad de los fenómenos oceanográficos, incluyendo mezcla costera, frentes, ondas internas y zonas de turbulencia bidimensional y tridimensional (como vórtices, giros y remolinos) en un extenso rango de escalas. También se dan algunos fenómenos locales típicos como, por ejemplo, las famosas "rissagues" de Ciutadella en la Isla de Mallorca (Massaguer y Net, 1986).

Espectro de las oscilaciones de la superficie marina del MN

Las oscilaciones de la superficie del mar con frecuencias más bajas, que normalmente tienen las olas del viento (o de gravedad), en esta parte del Mediterráneo son de dos tipos: regulares e irregulares. La amplitud y la frecuencia o ocurrencia de estas fluctuaciones, tanto regulares como irregulares, depende mucho de la situación geográfica como tal, del punto de observación mareográfica, de condiciones batimétricas locales y de situación hidrometeorológica *in situ*.

Según las investigaciones de Andrade, (1970) en la cuenca del Mediterráneo Occidental se observan las oscilaciones armónicas de marea propia y las oscilaciones armónicas de período menor (entre doce a treinta minutos) características de cada localidad. Estas últimas son ondas tipo "seiches" y son productos de la reacción de las masas de agua de la propia bahía a la penetración de una onda larga desde el mar abierto. Normalmente la amplitud máxima de estas ondas "seiches" no alcanza 10-12 cm (Puertos de Marbella, Málaga, Ceuta, Algeciras, Barcelona) y no existe coherencia significativa entre sus registros de los dichos puertos. Sin embargo en algunas bahías del Mar Balear existen las oscilaciones extraordinarias de este tipo que tienen el período de 3 a 30 min. y alcanzan la amplitud de 2 m. (Massaguer y Net, 1986).

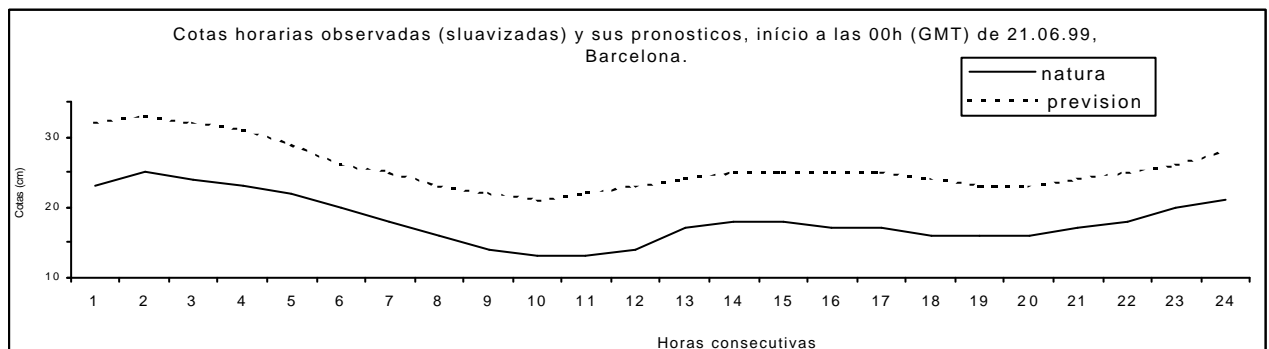


Figura 2.2.8. Valores horarios de nivel del mar.

Otro tipo de oscilaciones de la superficie del mar es la no armónica y de período entre horas y días que corresponde a las llamadas "mareas meteorológicas" que provocan determinadas condiciones meteorológicas (ondas atmosféricas en general de periodo de algunos días que provocan vientos fuertes y cambio brusco de la presión atmosférica). La amplitud de este tipo de oscilaciones suele alcanzar decenas de centímetros. La marea meteorológica suele ser importante y significativa cuantitativamente en el caso, por ejemplo, del Puerto de Barcelona. En la figura 2.2.8 se muestra una diferencia media de 8 cm entre

los valores de las cotas horarias suavizadas observadas (la línea continua) y los de las cotas horarias pronosticadas sobre el Nivel Medio del Mar NMM (la línea punteada) el día 21 de junio de 1999.

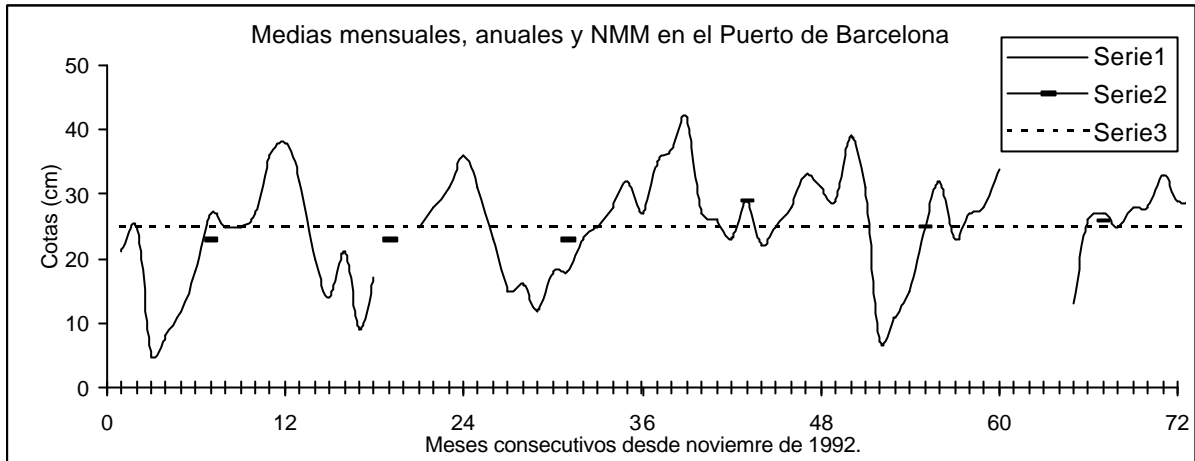


Figura 2.2.9. Distintos niveles medios en cm, Puerto de Barcelona: serie 1 - cotas medias mensuales, serie 2 - valor medio anual, serie 3 - Nivel Medio del Mar NMM.

La amplitud de marea como tal en Mediterráneo Noroccidental está en orden de centímetros (Figura 2.2.8 y Tabla 2.2.3).

Tabla 2.2.3.

Site	Coordenadas		Nx (cm)	HWF&Ch	$\frac{HK_1+HO_1}{HM_2}$	M ₂	S ₂	K ₁	O ₁
	Lat	Long							
Alicante	38° 20' N	0° 27' W	11	02h 01m	3.0	2.0	1.0	4.0	2.0
						51.0°	78.0°	163.0°	109.0°
Valencia	39° 28' N	0° 20' W	13	06h 17m	3.8	1.7	0.4	3.9	2.5
						195.4°	122.8°	169.2°	102.7°
Barcelona	41° 21' N	2° 10' E	11	07h 37m	1.3	4.6	1.5	3.7	2.3
						213.6°	233.3°	166.8°	101.6°
Banyuls	42° 29' N	3° 06' E	11	08h 13m	1.1	4.6	1.8	3.2	1.9
						229.0°	249.0°	179.0°	110.0°
Marseille	43° 18' N	5° 21' E	14	07h 56m	0.7	7.0	2.0	3.0	2.0
						217.0°	236.0°	176.0°	101.0°
Palma de Mallorca	39° 35' N	2° 38' E	10	07h 24m	2.0	3.0	1.0	4.0	2.0
						208.0°	223.0°	168.0°	105.0°

En la escala mensual de los cambios del Nivel Medio del Mar NMM nosotros podemos observar las oscilaciones temporales asociadas con las subidas y bajadas del volumen total del agua en la cuenca de todo Mediterráneo por intensas lluvias de otoño, las secas, etc. Cambios temporales pueden generar un valor de diferencia de NMM medio mensual (entre su máximo y mínimo) de 35-40 cm en el caso, por ejemplo, del Puerto de Barcelona (Figura 2.2.9).

En la escala anual (de muchos años) se notan los cambios breves del NMM medio anual de algunos centímetros. Estas variaciones suaves suelen estar asociadas con procesos sinópticos globales.

Propagación de la onda de marea astronómica en el MN.

Utilizando los valores de constantes armónicas fue calculado el valor de *High Water Full & Change (HWF & Ch)* en horas y minutos para distintos puertos del MN (Tabla 2.2.3). Los valores de

amplitudes y fases de cuatro principales constantes armónicas de Banyuls y valores de HWF & Ch de los puertos de Carloforte y Skikda fueron tomados del artículo de Tsimplis et al. (1995).

Nota: HWF & Ch es el período del tiempo que demora la pleamar después del paso de la Luna al meridiano local del punto de observación.

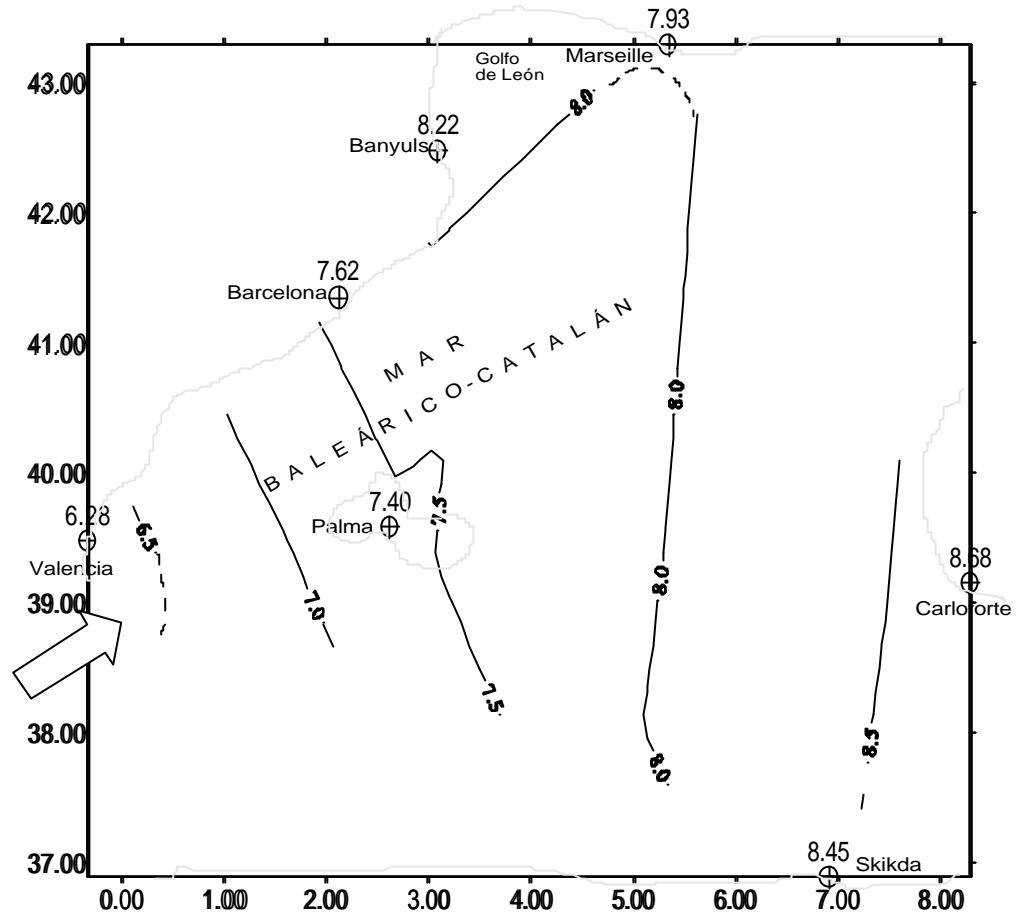


Figura 2.2.10. Propagación de la onda de marea astronómica en el MN. Valores de HWF & Ch están en horas.

Como se muestra en la figura 2.2.10, las curvas de interpolación de valores de HWF & Ch , la onda de marea se propaga desde suroeste hacia nordeste, cambiando su tipo mixto con predominio de la componente diurna en Alicante, donde $2.0 < (HK_1 + HO_1)/HM_2 < 4.0$, al tipo mixto con predominio de la componente semidiurna en Marseille, donde $0.5 < (HK_1 + HO_1)/HM_2 < 2.0$.

El fenómeno de marea tiene carácter tridimensional, lo que significa que mientras la onda de marea se propaga, se observa no sólo pleamares y bajamares, sino los movimientos horizontales de masa de agua asociados con las corrientes de marea. Normalmente estas corrientes tienen el mismo período T que las oscilaciones verticales pero su fase es distinta. Los períodos de las ondas ficticias principales de marea en el MN son los siguientes: $TM_2 = 12.421$ h, $TS_2 = 12.00$ h, $TK_1 = 23.93$ h, $TO_1 = 25.82$. Por otro lado, en Rippeth et al. (2002), se observa la existencia de las oscilaciones considerables horizontales de carácter inercial (período de 18.4 h) y de carácter diurno (período de 24 h) detectadas en la plataforma continental frente al Delta del Ebro. Podemos suponer que las corrientes de marea juegan un cierto papel en estas oscilaciones diurnas inerciales.

[Regresar al Índice](#)

[Seguir](#)