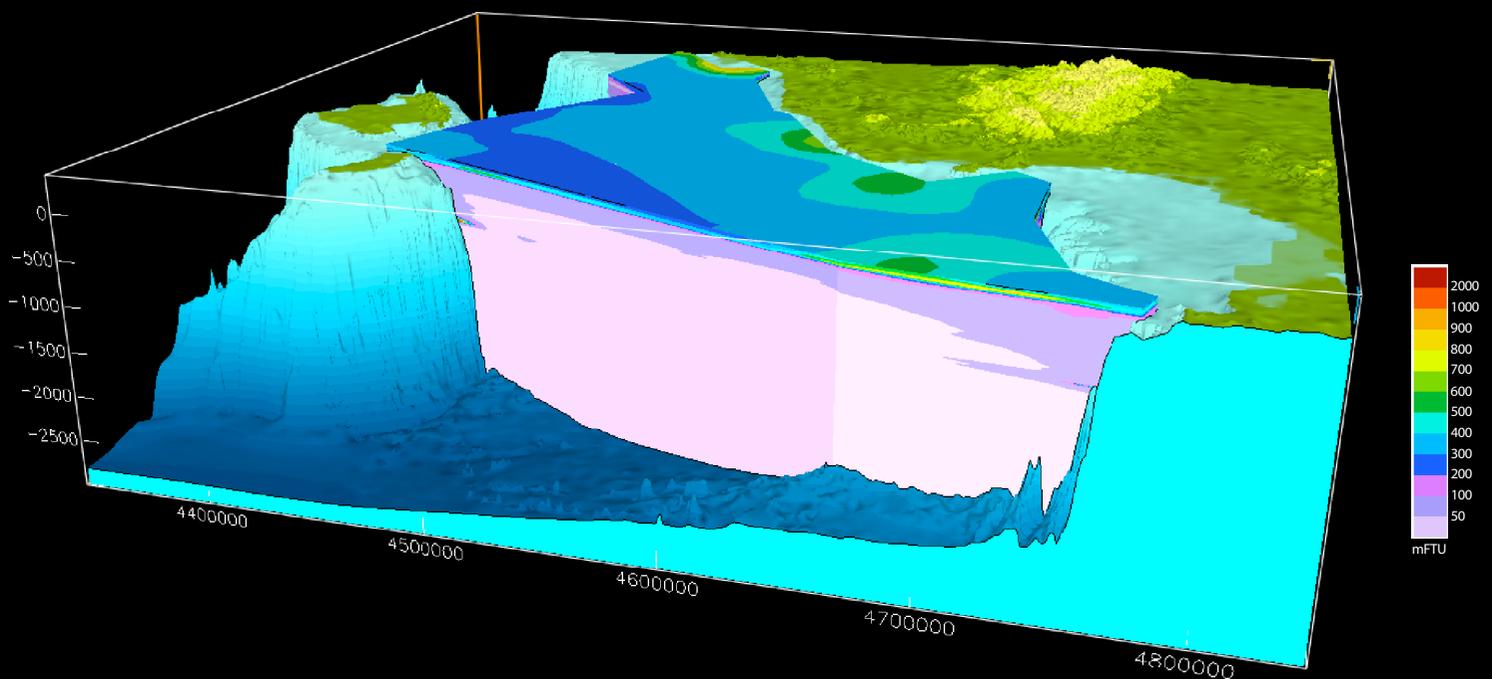


# *Distribución 3-D de la materia particulada en suspensión en el Mar Catalano-Balear (Mediterráneo Noroccidental)*

**José Luis Casamor**

*Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines*



Distribución 3-D de la materia particulada en suspensión en el Mar Catalano-Balear (Mediterráneo Noroccidental)

*3D distribution of the suspended particulate matter in the Catalan-Balearic Sea (Northwestern Mediterranean)*

-----  
Copyright © 2007, José Luis Casamor  
-----

Se concede permiso para compartir, copiar y distribuir esta obra, siempre y cuando se cite la fuente original y su contenido no haya sido alterado ni usado con fines comerciales. Esta licencia se aplica a todo el texto y a las figuras e imágenes creadas por el propio autor, salvo aquellas en las que se especifique de modo explícito una distinta procedencia.

*Permission is granted to share, make and distribute copies of this document, with the condition that you cite the original source and make no changes to its content or format, and may not be used for commercial or other special purposes. This license applies to all of the text, figures and images created by the Author, with the exception of those created by other authors.*

-----  
El presente documento recoge los principales resultados científicos del Capítulo 4 de la Tesis Doctoral del autor titulada "Modelización y visualización 3-D en Geociencias Marinas"; presentada en la Universitat de Barcelona el día 19 de diciembre de 2006.

*This document provides the most important scientific results of Chapter 4 of the author's PhD thesis "3D modelling and visualization in Marine Geosciences"; submitted at the University of Barcelona on 19 December 2006.*

# ÍNDICE

<b>Índice .....</b>	<b>1</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>3</b>
<b>Abstract .....</b>	<b>4</b>
<b>1. Introducción .....</b>	<b>5</b>
<b>2. Marco geológico .....</b>	<b>6</b>
<b>3. Obtención y preparación de datos .....</b>	<b>9</b>
<b>3.1. Campaña oceanográfica .....</b>	<b>9</b>
<b>3.2. Calibración de la turbidez en términos de MPS .....</b>	<b>12</b>
<b>4. Metodología .....</b>	<b>13</b>
<b>4.1. Construcción de la malla batimétrica 2-D .....</b>	<b>13</b>
<b>4.2. Corrección de la situación de las estaciones .....</b>	<b>15</b>
<b>4.3. Creación de la malla 3-D de la turbidez .....</b>	<b>15</b>
<b>4.4. Generación del modelo 3-D de distribución de la MPS .....</b>	<b>15</b>
<b>4.5. Cálculos volumétricos y cuantificación de la MPS .....</b>	<b>16</b>
<b>5. Resultados y discusión .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1. Distribución espacial de la MPS .....</b>	<b>16</b>
<b>5.2. Cálculos de volumen, concentración y masa .....</b>	<b>22</b>
<b>6. Conclusiones .....</b>	<b>27</b>
<b>7. Bibliografía .....</b>	<b>28</b>

Quiero expresar en primer lugar mi sincero agradecimiento a Miquel Canals, Cap del GRC Geociències Marines (GRCGM) de la Universitat de Barcelona, por su indispensable apoyo científico y personal en el desarrollo de este trabajo. Gracias también a Antoni Calafat, por sus comentarios sobre algunos apartados del documento, y al resto de miembros del GRCGM, por su colaboración en mayor o menor medida en diversas fases del trabajo, desde la obtención de los datos hasta el procesamiento de los mismos.

Agradezco también la tarea realizada por el capitán y la tripulación del N/O Minerva durante la campaña FLUBAL'93, y por el comandante, oficiales, suboficiales y marinería del BIO Hespérides durante la campaña MARINADA '02, así como la de todos los investigadores y técnicos pertenecientes a diversas instituciones y centros de investigación, tanto a nivel estatal como internacional, que han participado en dichas campañas.

Parte del trabajo se ha desarrollado gracias a una beca otorgada por la "Comission Fédérale de Bourses pour étudiants étrangers", del Gobierno de Suiza, para desarrollar el tema de investigación "Caractérisation et circulation de la matière en suspension dans le bassin Nord-Baléares (Projet MAST II-C.E.C /MTP EUROMARGE Méditerranée NW)" durante una estancia en el Groupe Limnocéane del Institut de Géologie de la Université de Neuchâtel, bajo la supervisión y el soporte de François Nyffeler y de Charles-Henri Godet.

El presente trabajo ha sido posible gracias a los siguientes proyectos y organismos financiadores: Proyecto "Flujos biogeoquímicos y evolución climático-ambiental del Mar Balear" (AMB93-0841), de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT); Programa "EUROMARGE-NB" (MAS2-CT93-0053) de la Unión Europea; Proyecto "Flujos biogeoquímicos y evolución climático-ambiental del Mar Balear-2" (AMB94-0706-C02-02), de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT); y Proyecto "COSTA-MARINADA, Estabilidad de taludes continentales" (REN-MAR-2000/1849-CE/001), de la Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología (CICYT). La Direcció General de Recerca de la Generalitat de Catalunya ha financiado al GRCGM a través de su programa "Grups de Recerca d'Excel·lència" (2001 SGR-00076) y de la Red Temática "Barcelona Consortium on Marine Geosciences" (2003 XT-0025).

## RESUMEN

**E**n este trabajo presentamos un modelo 3-D de la distribución espacial de la MPS en condiciones estivales en la columna de agua del Mar Catalano-Balear (MCB). El modelo se ha construido a partir de datos de concentraciones de MPS obtenidos en 168 estaciones hidrológicas durante la campaña FLUBAL '93, mediante la determinación óptica de la turbidez del agua usando un nefelómetro. También se han obtenido valores de concentración de la MPS por filtración que han permitido cuantificar la cantidad total de MPS en el volumen de agua del área de estudio.

El modelo muestra la existencia de varias capas nefeloides. La capa superficial está ligada a la termoclina estacional y su espesor máximo es de 100 m. La capa de fondo se desarrolla especialmente en sectores de la plataforma continental del margen catalán. La principal capa nefeloide intermedia aparece por debajo de la cota de la ruptura de pendiente del borde de plataforma, puede tener 250 m de espesor y extenderse unos 20 km hacia la cuenca en el margen catalán meridional. Otras capas intermedias pueden aparecer a unos 300-500 m de profundidad, especialmente en el ejes de los cañones.

En su conjunto, más del 85% del volumen de agua investigado ( $86.000 \text{ km}^3$ ) presenta concentraciones medias de MPS bajas o muy bajas. Los valores son casi cinco veces mayores sobre la plataforma que sobre el conjunto talud-glacis-cuenca. En superficie, las mayores concentraciones se localizan en los márgenes terrígenos de Cataluña y del Golfo de León. A partir de los 200 m, las concentraciones disminuyen paulatinamente con la profundidad, siendo el descenso más acusado a partir de los 800 m. Por debajo de los 1.500 m de profundidad, las concentraciones pueden considerarse muy homogéneas. Por último, se ha calculado la masa total de MPS en el área investigada del MCB, algo más de 15,5 millones de Tm.

## ABSTRACT

We present a 3D spatial distribution model of the suspended particulate matter (SPM) in the water column of the Catalan-Balearic Sea (Northwestern Mediterranean). The model has been built using SPM concentration data which were obtained by determining the water turbidity using a nephelometer. These data were carried out during FLUBAL '93 cruise (August 1993) at 168 hydrological stations. Moreover, concentration values of SPM obtained by filtration have enabled quantification of the total SPM amount in the water volume of the study area.

The model shows the presence of several nepheloid layers. The surface layer is linked to the seasonal thermocline and its maximum thickness is about 100 m. The bottom layer is developed specially in the continental shelf of the Catalan margin. The main intermediate nepheloid layer is located below the shelf break, can have a thickness of up to 250 m and extend at around 20 km toward the basin of the meridional Catalan margin. Other intermediate layers may also appear between 300 to 500 m of depth, particularly in the axes of the canyons.

More than 85% of the water volume analysed (86000 km<sup>3</sup>) show low or very low SPM average concentrations. The values are almost five times higher over the continental shelf than over the set of slope-glacis-basin. On the surface, the highest concentration is located on the terrigenous margins of Catalonia and the Gulf of Lions. Beyond around 200 m, concentrations decrease gradually with depth, being the sharper decrease from 800 m. Below a depth of 1500 m, the concentrations can be considered very homogeneous. Finally, a total SPM mass of  $15.5 \times 10^6$  Tm has been calculated in the study area.

## 1. INTRODUCCIÓN

La Materia Particulada en Suspensión (MPS) en el medio marino se define como el conjunto de partículas de formas, tamaños, composiciones y orígenes diversos que queda retenido en un filtro con un tamaño de poro de 0,4 a 0,5  $\mu\text{m}$  (Eisma, 1993). Se considera que las dos principales fuentes de partículas en el océano son los ríos y la producción primaria en las masas de agua superficiales (Salomons y Mook, 1987). Los ríos aportan material litogénico de origen continental, constituido mayoritariamente por silicatos y carbonatos detríticos, cuyas características favorecen su sedimentación a lo largo de la costa (Milliman y Meade, 1983). La producción primaria aporta material biogénico, carbonatado o silíceo, secretado por organismos planctónicos (Lal, 1977). Las condiciones físico-químicas de las distintas regiones oceánicas y los procesos de toda índole que afectan a la MPS durante su permanencia en la columna de agua, controlan las abundancias relativas de los diferentes tipos de MPS y su distribución espacial. Se estima que la masa total de MPS en los océanos es de unas  $3 \times 10^{10}$  Tm (Eisma, 1993). Las concentraciones de la MPS oscilan entre 100 y 500  $\mu\text{g/l}$  en los 100 m superiores, y entre 20 y 30  $\mu\text{g/l}$  en el resto de la columna de agua, que representa el 90 % del volumen de agua oceánica (Durrieu de Madron, 1991).

El estudio de la distribución y la concentración de la MPS en la columna de agua suele abordarse mediante la combinación de métodos gravimétricos y ópticos. Los métodos gravimétricos se basan en la determinación directa de la concentración de MPS mediante filtración de muestras de agua obtenidas a diferentes profundidades. El principal inconveniente de este método es que las muestras tienen carácter puntual dentro de la columna de agua. Por otra parte, la recolección física de las partículas permite su caracterización geoquímica y mineralógica. Los métodos ópticos miden el efecto provocado por las partículas en suspensión sobre un haz de luz entre dos puntos, uno de emisión y otro de recepción (Gibbs, 1974; Nyffeler et al., 2001). Se obtiene así una medida de la turbidez, propiedad óptica que depende, principalmente, de las características y de la concentración de partículas en la columna de agua. Los métodos ópticos proporcionan una imagen instantánea de la distribución espacial de la MPS sin necesidad de muestreos específicos, excepto para calibrar las lecturas instrumentales (McCave, 1986; Bunt et al., 1999; Wegner et al., 2003).

La MPS interviene en los ciclos biogeoquímicos de elementos cuyo estado y comportamiento están ligados a los procesos que afectan a la MPS (Monaco et al., 1990b; Durrieu de Madron, 1994; Karageorgis et al., 2003; Yurkovskis, 2005). Diversos elementos y compuestos nocivos son afines a la MPS, por lo que el conocimiento de los flujos y de los mecanismos de transporte y acumulación de la MPS son fundamentales para comprender mejor la dispersión y el destino final de muchos contaminantes (metales, pesticidas, etc.) y radionucleidos (Bishop, 1986; Calmet y Fernández, 1990). El estudio de la MPS tiene asimismo un gran interés por su valor como trazador de la dinámica hidrosedimentaria (McCave y Hall, 2002), por su interacción con la fauna bentónica (Puig et al., 2001a; Palanques et al., 2005), y por su importancia en la formación de depósitos sedimentarios a diferentes escalas espaciales y temporales (Drake, 1976; Courp y Monaco, 1990).

La investigación del papel de la MPS en los procesos y situaciones antes mencionados se ha traducido en numerosos programas y proyectos de investigación de carácter pluridisciplinar (Monaco et al., 1990a; Martin y Milliman, 1997; Monaco y Peruzzi, 2002). El presente trabajo está estrechamente relacionado con las tareas realizadas en el marco del proyecto europeo EUROMARGE-NB (*“European Margins in the North Balearic Basin”*) (Canals et al., 1996), y se centra en el estudio de la distribución espacial de la MPS en la columna de agua en el Mar Catalano-Balear, Mediterráneo Noroccidental.

## 2. MARCO GEOLÓGICO

El denominado Mar Catalano-Balear (MCB) (Canals et al., 1982) ocupa la mitad oeste del Mediterráneo Noroccidental (Figura 1). La situación geográfica y las características fisiográficas, hidrodinámicas y sedimentarias del MCB, así como las características y procesos actuantes en las tierras emergidas que lo rodean y las actividades antropogénicas que en ellas se desarrollan, condicionan la naturaleza de la MPS y los procesos que controlan su transporte y distribución regionales (Figura 2).

El MCB presenta contrastes morfológicos y sedimentológicos significativos. Al N y al W se sitúan los márgenes terrígenos del Golfo de León, de Catalunya y del Ebro. Varios sistemas fluviales desembocan en estos márgenes, donde forman deltas y prodeltas de distintos tamaños. Los aportes terrígenos de estos ríos constituyen la principal fuente de MPS en el área de estudio. Tanto el volumen como la naturaleza de estos aportes están influenciados por un gran número de variables interrelacionadas, como el incremento de la descarga de los ríos, de alta

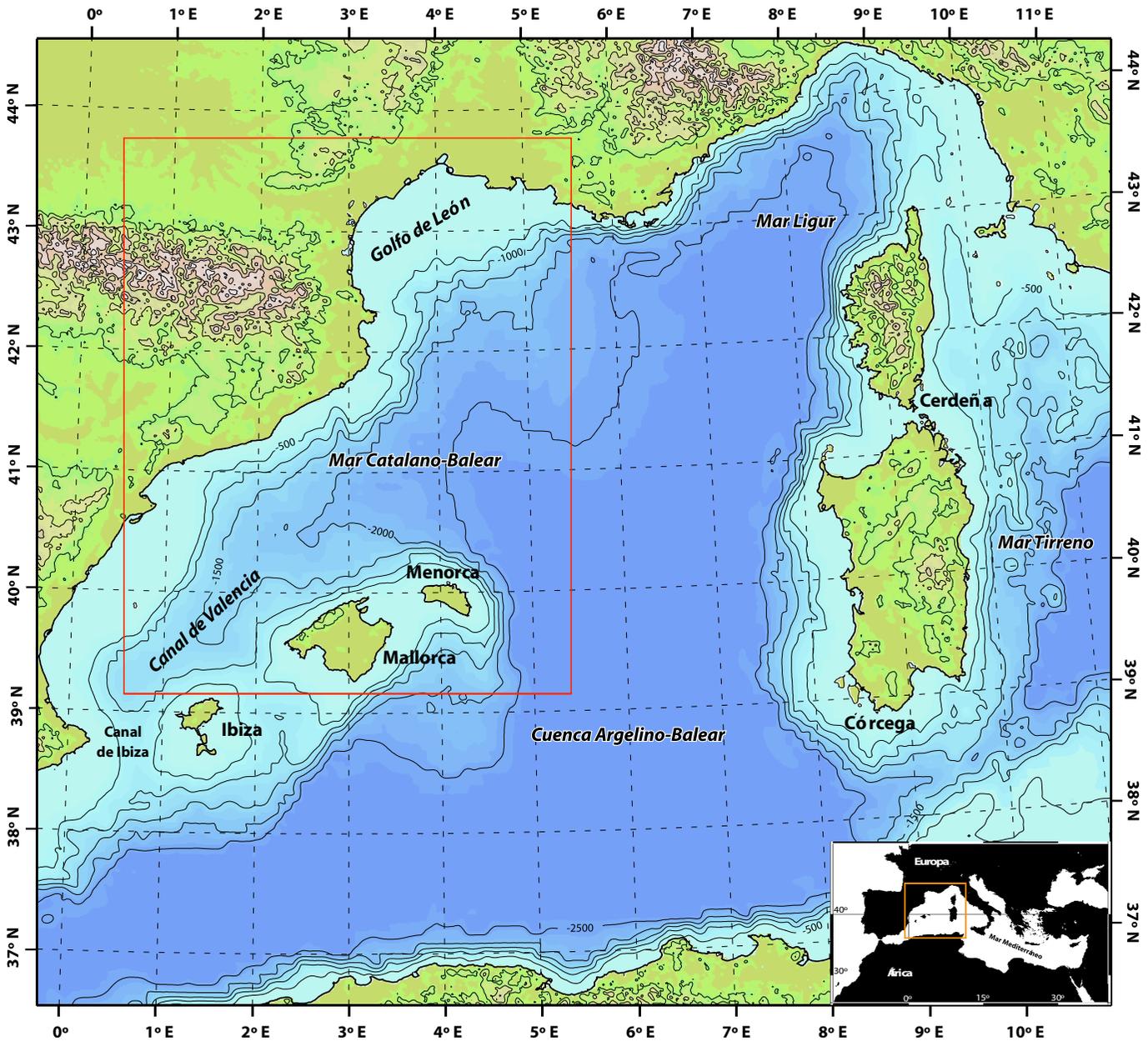


Figura 1. Mapa topográfico en color del Mediterráneo Occidental, con indicación de algunos de los elementos fisiográficos más relevantes. El recuadro rojo corresponde a la Figura 2.

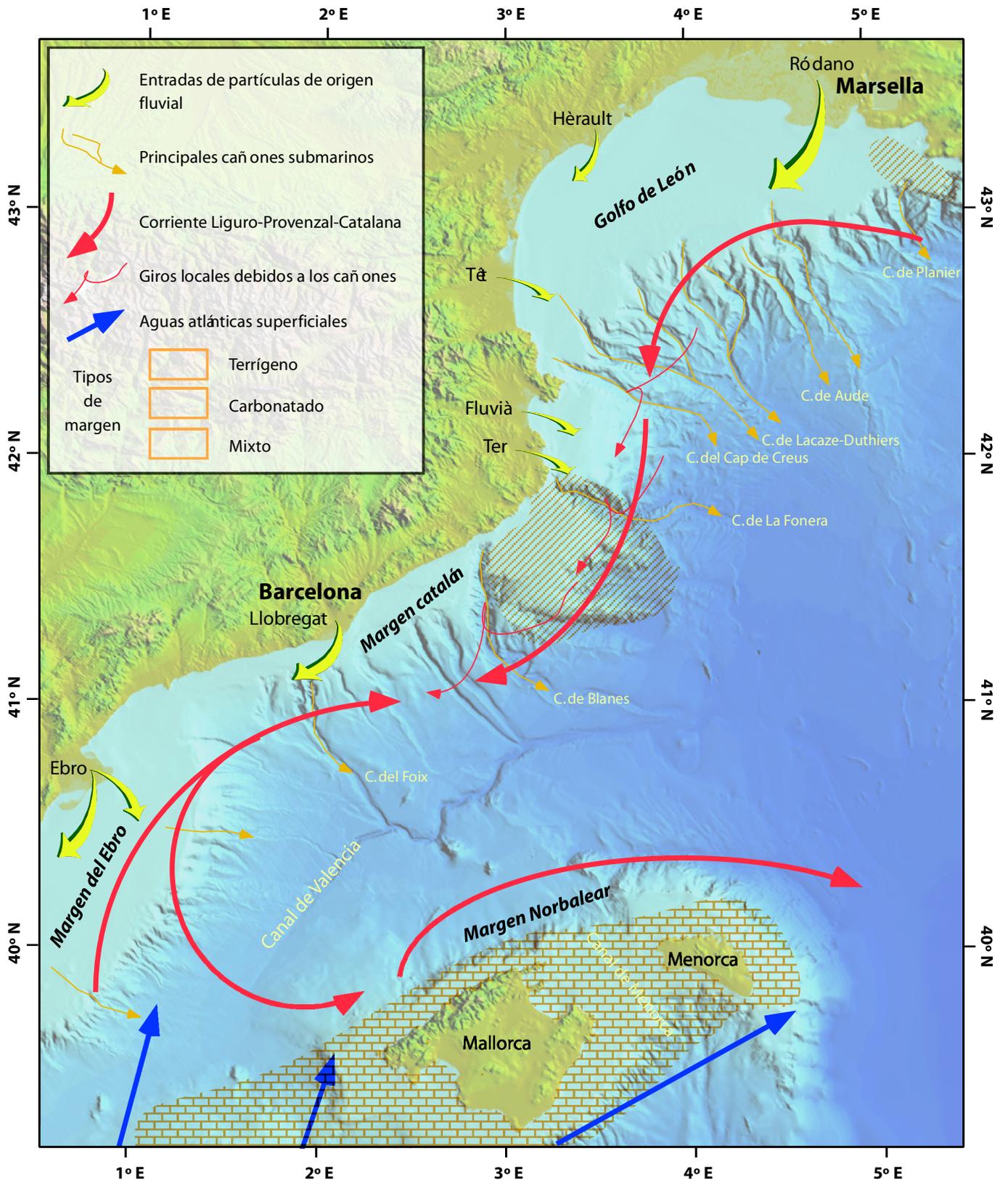


Figura 2. Mapa de relieve sombreado en color del Mar Catalano-Balear y de las áreas emergidas adyacentes, con indicación de las principales fuentes de partículas, los fenómenos hidrodinámicos más importantes y el carácter sedimentario de los márgenes continentales. Se indica también el nombre de los cañones y valles submarinos más relevantes.

variabilidad estacional (Courp y Monaco, 1990). El río Ródano, al norte, aporta una media de unos 6,2 millones de Tm/año de MPS (Pont, 1997). Los aportes de MPS del río Ebro fueron mucho más importantes en épocas anteriores, pero el gran número de presas construidas en la cuenca durante el siglo pasado ha hecho disminuir drásticamente los aportes, hasta menos del 1 % de la etapa anterior a la regulación hidrológica generalizada (Palanques et al., 2002). Actualmente, el aporte de MPS del río Ebro se estima en algo más de 0,2 millones de Tm/año (Guillén y Palanques, 1992; Vericat y Batalla, 2006). El río Llobregat aporta unas 68.000 Tm anuales (Liquete et al., 2006). El aporte de otros ríos, como el Hérault, el Aude, el Têt, el Ter o el Tordera, es mucho más reducido aunque puede alcanzar puntas elevadas durante las crecidas. Los abundantes cañones submarinos excavados en el talud y en la plataforma continentales constituyen vías preferenciales para el transporte de finos hacia el margen distal y la cuenca (Durrieu de Madron et al., 1990, McCave y Hall, 2002). Al S se sitúa el margen carbonatado balear, sin prácticamente ninguna influencia fluvial.

La actividad biológica en las aguas superficiales constituye la segunda fuente de partículas por orden de importancia. La producción de carbono orgánico particulado se estima en unos 2,6 millones de Tm/año sólo en el Golfo de León (Durrieu de Madron et al., 2000). También debe tenerse en cuenta el aporte episódico de polvo atmosférico, principalmente de origen sahariano. Este aporte sería de unos 4 millones de Tm/año para todo el Mediterráneo Occidental (Martin et al., 1989), de los que unos 0,3 millones de Tm/año caerían en el Golfo de León (Durrieu de Madron et al., 2000).

La circulación general en el MCB está marcada por el flujo ciclónico de la Corriente Liguro-Provenzal-Catalana (CLPC), o Corriente del Norte, que fluye paralela al talud continental de NE a SW (Figura 2) y que está asociada a la circulación general del Mediterráneo Occidental (Millot, 1987). El flujo principal de la CLPC tiene una anchura de 30-50 km y un rango de velocidades comprendido entre 20 y 70 cm/s en superficie, y de algunos cm/s en profundidad. Las aguas de la CLPC invaden a menudo la plataforma continental a favor

de las curvas que describe la propia corriente (Flexas et al., 2002). El flujo asociado a la CLPC es de 1 a 2 millones de m<sup>3</sup>/s (Béthoux, 1980), cifra del mismo orden que el flujo saliente de aguas mediterráneas a través del Estrecho de Gibraltar (Millot, 1990). Hacia el sur del Golfo de Valencia, la CLPC se debilita y tiende a separarse del talud, quedando parcialmente atrapada en un giro anticiclónico. Seguidamente, la mayor parte del flujo se reorienta hacia el NE y pasa a alimentar la corriente que circula paralela al margen norbalear en dirección a la Cuenca Argelino-Balear, pasando por el norte de Menorca (Pinot et al., 2002). La interacción de la CLPC con los elementos más destacados del relieve submarino, como los cañones submarinos y el borde de plataforma, da lugar a movimientos verticales, giros anticiclónicos locales y filamentos que se desvían mar adentro (Font et al., 1988). A la circulación general se le superponen otros procesos más localizados y de duración limitada, como la formación de aguas densas sobre la plataforma continental y mar adentro. Es también característica la variación estacional de la estratificación de las masas de agua.

En el MCB se distinguen tres masas de agua (Lacombe y Tchernia, 1972; Béthoux, 1980; Millot, 1987 y 1999). La masa de agua superficial, o Agua Atlántica Modificada (MAW, *Modified Atlantic Water*), de 150-200 m de espesor, está constituida por agua de origen atlántico y está sometida a la influencia directa de las condiciones meteorológicas y de los aportes continentales. Su salinidad varía entre 36,5 psu y 37,5 psu y su temperatura es >14°C. La formación y destrucción de termoclinas estacionales es un rasgo característico de la MAW. Por debajo de la MAW se encuentra el Agua Levantina Intermedia (LIW, *Levantine Intermediate Water*), entre 200 y 800 m de profundidad. La LIW interactúa con el talud, y presenta valores de salinidad altos, entre 38,45 psu y 38,75 psu, y una temperatura <14 °C. El Agua Profunda del Mediterráneo Occidental (WMDW, *Western Mediterranean Deep Water*), que se extiende hasta las mayores profundidades de la cuenca (>2.600 m), presenta una salinidad (38,4 psu) y una temperatura (12,7 °C) prácticamente uniformes.

La composición, la concentración y la distribución de la MPS en el MCB han sido estudiadas principalmente en la plataforma y el talud continentales del Golfo de León (Aloisi et al., 1982; Calafat, 1993; Durrieu de Madron y Panouse, 1996) y de Catalunya (Puig y Palanques, 1998; Palanques et al., 2005). A escala de cuenca podemos citar los trabajos de Calafat et al. (1996), Durrieu de Madron et al. (1996) y Casamor et al. (1998). La mayoría de autores proponen un modelo de distribución y transferencia de la MPS consistente en varias capas nefeloides, estructuras groseramente tabulares con una concentración de MPS superior a la de las aguas circundantes. Tal sistema multicapa está determinado por la procedencia y la composición de los aportes, y por la presencia y la localización de las estructuras hidrológicas. Según este modelo la MPS se concentraría principalmente en tres capas nefeloides de composición, extensión e importancia desiguales. Así, la capa nefeloide superficial estaría ligada a la entrada de aguas continentales en las zonas de plataforma y a la producción biogénica autóctona en las zonas más distales. A profundidades intermedias se hallaría un conjunto de capas menores susceptibles de tener orígenes diversos, aunque generalmente se las asocia a frentes de densidad plataforma-talud producidos por cambios de temperatura o salinidad (McCave, 1986). Cerca del fondo, aparecería una capa nefeloide de espesor variable con una carga particulada elevada. El espesor de la capa nefeloide de fondo suele ser mayor en la plataforma, decreciendo mar adentro. Más allá del borde de plataforma tiende a desgajarse de ella una capa nefeloide intermedia (Calafat et al., 1996).

A continuación, presentamos un modelo 3-D de la distribución espacial de la MPS en el MCB dentro del polígono delimitado por el Cañón de Lacaze-Duthiers al NW, el Cañón de Planier al NE, el Canal de Menorca al SE y la plataforma del Ebro al SW (Figuras 2 y 3). El estudio, realizado en condiciones estivales, se basa en la medición de las concentraciones de MPS principalmente mediante un nefelómetro, instrumento óptico cuyo principio está descrito en Casamor (1992) y Nyffeler et al. (2001). También se han obtenido valores de concentración de la MPS por filtración. La buena relación entre ambos conjuntos de valores ha proporcionado solidez a la cuantificación de la cantidad total de MPS en el volumen de agua del área de estudio.

### 3. OBTENCIÓN Y PREPARACIÓN DE DATOS

#### 3.1. Campaña oceanográfica

Los datos utilizados en este estudio fueron obtenidos durante la campaña FLUBAL '93, a bordo del buque oceanográfico *N/O Minerva*, entre el 1 y el 18 de Agosto de 1993. Los datos se adquirieron en 168 estaciones hidrológicas distribuidas irregularmente. Las mayores concentraciones de estaciones se situaron en el margen del Ebro, los cañones del Foix y de Lacaze-Duthiers, y el margen septentrional del Canal de Menorca (Figura 3). El posicionamiento se efectuó mediante un sistema GPS-KODEN, con una precisión de  $\pm 100$  m (Tabla 1). Los datos fueron adquiridos con la mayor rapidez posible dadas la extensión ( $57.280$  km<sup>2</sup>) del área objeto de estudio y las limitaciones impuestas por el propio carácter de los trabajos. Se pretendía así obtener un imagen cuasi sinóptica de la distribución de los parámetros hidrológicos y nefelométricos en el área investigada.

En cada estación se obtuvieron perfiles verticales continuos de la columna de agua, desde la superficie hasta escasos metros del fondo. Los datos de cada perfil se grabaron y visualizaron en tiempo real mediante un software específico. La temperatura y la salinidad se midieron con una batisonda ICTD de Falmouth Scientific Instruments (FSI) en las estaciones 1 a 80, y con una batisonda CTD NBIS Mark III en las estaciones 103 a 208. Las dos batisondas estaban debidamente calibradas e incorporaban un altímetro Benthos que facilitó la medición y el muestreo preciso de la columna de agua en las inmediaciones del fondo. La turbidez se midió con un nefelómetro DIP (*Diffusiometre Intégrateur Profond*) (Nyffeler y Godet, 1986; Vangriesheim et al., 1992). La turbidez bruta se expresaba en unidades arbitrarias correspondientes a un patrón difusor de la formazina. Por este motivo se habla de Unidades de Turbidez de Formazina (en inglés, *Formazine Turbidity Units*, FTU). Todos los instrumentos mencionados estaban montados en un armazón metálico que incorporaba una roseta General Oceanic de 12 botellas Niskin de 10 l.

De un total de 183 Mb de datos brutos sólo se han considerado los adquiridos durante el descenso de cada lance. Se evitan así las anomalías que potencialmente puede producir el arrastre de la instrumentación durante el ascenso. Téngase en

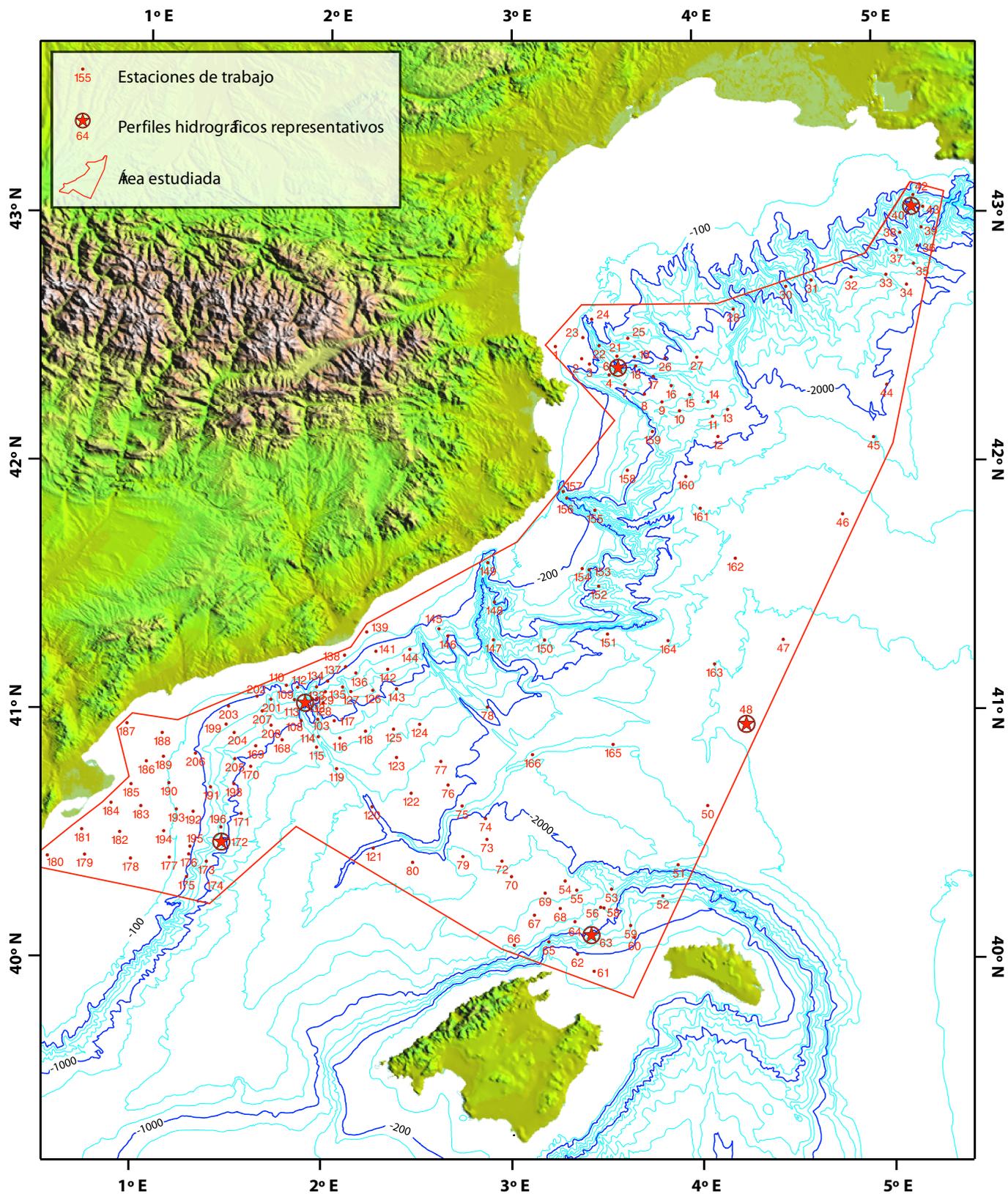


Figura 3. Mapa batimétrico del Mar Catalano-Balear. La línea roja define el polígono que delimita la situación de las 168 estaciones de trabajo (puntos rojos) de la campaña FLUBAL '93. Los puntos rojos de mayor tamaño corresponden a las estaciones de donde provienen los perfiles representativos ilustrados en la Figura 7. Nótese que la plataforma interna del margen catalán, y la mayor parte de la plataforma del Golfo de León y de las Baleares quedan fuera del polígono. Equidistancia general entre isóbatas de 200 m.

Est.	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Prof. CTD	Prof. Est.
1	42,481	3,236	-89	-90
2	42,431	3,380	-113	-123
3	42,409	3,422	-132	-135
4	42,366	3,529	-403	-407
6	42,393	3,581	-942	-978
7	42,325	3,616	-633	-642
8	42,287	3,721	-989	-991
9	42,255	3,816	-1216	-1222
10	42,219	3,912	-1591	-1594
11	42,195	4,091	-1781	-1785
12	42,113	4,119	-1912	-1946
13	42,221	4,174	-1817	-1820
14	42,253	4,067	-1541	-1547
15	42,283	3,968	-1321	-1324
16	42,320	3,868	-1185	-1188
17	42,358	3,770	-1040	-1045
18	42,400	3,675	-1176	-1184
19	42,438	3,668	-740	-745
21	42,440	3,572	-737	-739
22	42,484	3,475	-630	-635
23	42,516	3,387	-110	-113
24	42,590	3,435	-97	-101
25	42,512	3,633	-714	-721
26	42,431	3,836	-940	-947
27	42,433	4,009	-1235	-1237
28	42,625	4,212	-729	-741
30	42,713	4,502	-1276	-1282
31	42,737	4,642	-1348	-1350
32	42,746	4,862	-1192	-1202
33	42,753	5,054	-1713	-1727
34	42,712	5,165	-1872	-1886
35	42,795	5,207	-1531	-1535
36	42,866	5,229	-1899	-1905
37	42,850	5,115	-80	-1329
38	42,921	5,135	-1295	-1299
39	42,941	5,254	-1416	-1418
40	43,028	5,203	-1124	-1132
42	43,071	5,213	-498	-502
43	43,023	5,266	-789	-796
44	42,311	5,044	-1985	-1991
45	42,101	4,966	-2145	-2149
46	41,794	4,789	-2461	-2466
47	41,293	4,456	-2620	-2623
48	40,949	4,252	-2654	-2659
50	40,628	4,040	-2450	-2455
51	40,391	3,879	-2412	-2416
52	40,266	3,797	-689	-697
53	40,295	3,526	-1506	-1544
54	40,328	3,280	-1903	-1907
55	40,291	3,342	-1610	-1633
56	40,222	3,467	-1233	-1237
58	40,219	3,485	-609	-1211
59	40,148	3,626	-574	-576
60	40,100	3,645	-309	-313
61	39,964	3,432	-137	-139
62	40,034	3,344	-163	-166
63	40,105	3,417	-759	-761
64	40,164	3,332	-1298	-1306
65	40,083	3,193	-781	-785
66	40,070	3,011	-1491	-1495
67	40,191	3,118	-1551	-1554
68	40,217	3,254	-1531	-1533
69	40,279	3,175	-1655	-1657
70	40,346	2,996	-1786	-1789
72	40,409	2,946	-1817	-1820
73	40,496	2,866	-1845	-1849
74	40,580	2,858	-1997	-1999
75	40,631	2,734	-2068	-2073
76	40,715	2,659	-1920	-1922
77	40,809	2,619	-1905	-1907
78	41,029	2,868	-1948	-1952
79	40,427	2,739	-1280	-1286
80	40,403	2,472	-1862	-1870
103	40,975	1,960	-1294	-1301
108	40,969	1,872	-1050	-1062
109	41,053	1,835	-357	-435
110	41,111	1,790	-114	-115
112	41,103	1,851	-381	-393
113	41,043	1,893	-1057	-1060
114	40,905	1,965	-1548	-1567
115	40,863	1,956	-1275	-1277
116	40,901	2,080	-1289	-1290
117	40,970	2,049	-1064	-1065
118	40,929	2,216	-1342	-1347
119	40,777	2,064	-1694	-1698
120	40,626	2,254	-2044	-2047
121	40,459	2,263	-1933	-1935
122	40,681	2,462	-1788	-1792
123	40,824	2,383	-1688	-1689
124	40,958	2,505	-1667	-1664

Est.	Lat. (°N)	Lon. (°E)	Prof. CTD	Prof. Est.
125	40,938	2,366	-1557	-1558
126	41,094	2,253	-745	-746
127	41,088	2,136	-596	-597
128	41,042	1,988	-657	-661
129	41,087	2,000	-453	-455
132	41,055	1,953	-981	-1006
133	41,106	1,952	-380	-392
134	41,129	2,011	-243	-252
135	41,106	2,092	-585	-591
136	41,163	2,162	-374	-375
137	41,188	2,107	-174	-178
138	41,235	2,101	-81	-83
139	41,329	2,219	-72	-74
141	41,252	2,268	-272	-275
142	41,179	2,333	-531	-533
143	41,101	2,381	-1186	-1195
144	41,261	2,451	-451	-454
145	41,344	2,606	-512	-520
146	41,315	2,654	-982	-993
147	41,300	2,899	-1802	-1805
148	41,452	2,904	-1023	-1025
149	41,611	2,868	-529	-539
150	41,299	3,174	-1488	-1499
151	41,322	3,512	-2309	-2312
152	41,515	3,466	-1300	-1313
153	41,581	3,415	-949	-968
154	41,586	3,378	-382	-386
155	41,821	3,448	-1456	-1459
156	41,871	3,295	-908	-913
157	41,897	3,277	-465	-474
158	41,981	3,625	-902	-903
159	42,136	3,763	-871	-876
160	41,953	3,942	-2020	-2028
161	41,825	4,018	-2378	-2382
162	41,622	4,204	-2470	-2477
163	41,198	4,085	-2599	-2600
164	41,293	3,838	-2430	-2433
165	40,877	3,539	-2440	-2443
166	40,837	3,108	-2427	-2433
168	40,891	1,772	-1051	-1061
169	40,865	1,631	-881	-904
170	40,782	1,606	-1083	-1093
171	40,592	1,559	-1034	-1037
172	40,477	1,461	-873	-881
173	40,397	1,379	-779	-787
174	40,260	1,348	-896	-899
175	40,334	1,276	-200	-205
176	40,425	1,285	-128	-133
177	40,411	1,182	-94	-94
178	40,404	0,977	-83	-85
179	40,415	0,733	-61	-62
180	40,407	0,536	-24	-26
181	40,517	0,714	-24	-26
182	40,510	0,916	-73	-76
183	40,616	1,025	-71	-73
184	40,626	0,866	-15	-17
185	40,703	0,971	-52	-53
186	40,796	1,050	-87	-88
187	40,948	0,941	-63	-65
188	40,912	1,131	-82	-83
189	40,816	1,140	-96	-97
190	40,710	1,172	-102	-103
191	40,697	1,394	-378	-382
192	40,597	1,304	-130	-131
193	40,605	1,214	-102	-103
194	40,516	1,150	-88	-89
195	40,457	1,290	-126	-127
196	40,537	1,453	-646	-647
198	40,711	1,518	-1008	-1010
199	40,950	1,472	-360	-364
201	41,054	1,709	-509	-512
202	41,065	1,634	-203	-207
203	41,024	1,482	-214	-216
204	40,917	1,515	-505	-506
205	40,812	1,521	-888	-890
206	40,832	1,311	-146	-147
207	41,006	1,663	-474	-476
208	40,949	1,712	-904	-909

Tabla 4.1. Listado de la posición corregida (cf. Apto.4.2) de las estaciones hidrológicas de la campaña FLUBAL '93. Se indica también la profundidad máxima alcanzada por el CTD y la profundidad del lecho marino en cada estación. Posiciones en coordenadas geográficas. Valores de profundidad en metros.

cuenta que los sensores estaban situados en la parte inferior del almacén metálico y de la roseta. Los valores correspondientes al intervalo más superficial de cada lance han sido eliminados para evitar distorsiones potenciales debidas a las maniobras de posicionamiento en estación del buque. Los valores de turbidez han sido filtrados convenientemente, habiéndose seleccionado un valor por metro de profundidad.

Con el fin de conocer la carga sólida en suspensión y calibrar los valores proporcionados por el nefelómetro DIP (cf. Apto. 3.2), se filtraron a bordo un total de 306 muestras de distintas profundidades, obtenidas con las botellas Niskin durante el ascenso de la roseta. Los niveles de muestreo se seleccionaron en función de las estructuras hidrológicas y nefelométricas observadas durante el descenso de los instrumentos (Canals et al., 1993). Los volúmenes filtrados variaron entre 4 y 6 litros, en función de las concentraciones. Para el filtrado se emplearon una cadena de filtración Sartorius y una bomba de vacío Millipore, con filtros Millipore de policarbonato de 47 mm de diámetro y un tamaño nominal de poro de 0,45  $\mu\text{m}$ . Las partículas inferiores a este diámetro se han atribuido a la fracción disuelta. La concentración de MPS se determinó ya en tierra pesando los filtros, secados previamente durante 10-12 h a 50 °C, y restando las taras correspondientes. Para el tarado inicial y el pesaje final se usaron la misma balanza e idénticas condiciones experimentales.

### **3.2. Calibración de la turbidez en términos de MPS**

Diversos autores han intentado relacionar los valores de turbidez, obtenidos por métodos ópticos como la nefelometría, con las concentraciones de partículas en las aguas oceánicas (Bishop, 1986; Nyfeller y Godet, 1986; Downing y Beach, 1989; Durrieu de Madron et al., 1990; Conner y De Visser, 1992; Bunt et al., 1999; Guillén et al., 2000; Karageorgis et al., 2003). Los resultados han sido desiguales, pero la mayoría de trabajos asumen las conclusiones de Morel (1973), quien indica que para una población de partículas uniformemente distribuidas y cuyo tamaño de grano es homogéneo la intensidad dispersada es, en una primera aproximación, proporcional a la concentración de material en suspensión, y su función de

dispersión no es sensible a pequeñas variaciones estadísticas ni del tamaño ni de la forma de los granos.

Sin embargo, Baker y Lavelle (1984) demostraron que la dispersión de la luz en relación con la cantidad total de material en suspensión varía sistemáticamente con la distribución del tamaño de las partículas. Debería considerarse asimismo la influencia de otros factores, en algunos casos difícil de ponderar. Así, la materia orgánica presenta un comportamiento diferenciado y suele ser más “transparente” que la fase lito-génica. El índice de refracción, la densidad y la composición química del material dispersante son otros factores a tener en cuenta, así como las características del propio fluido, como la conductividad y la turbulencia. Debe tenerse presente en todo momento que la graduación del nefelómetro se realiza con una sustancia artificial, la formazina, en condiciones de laboratorio. Idealmente, para conseguir resultados más significativos, se podría pensar en graduar el aparato con muestras de MPS de la columna de agua a estudiar, lo cual en la práctica plantearía dificultades insalvables. Además, una graduación de esta índole presenta otro tipo de problemas ya que a la dificultad de obtener una muestra representativa de la población natural de partículas, siempre cambiante, se le añade la imposibilidad de reproducir fielmente el papel de todos los factores que afectan al valor de lectura del nefelómetro.

Si no se conoce la variación de la distribución de los tamaños de las partículas en la columna de agua, su naturaleza, su forma y su densidad, no se puede establecer una relación unívoca entre la intensidad dispersada y la concentración en masa de la MPS (Durrieu de Madron, 1991; Calafat et al., 1994). Aún y siendo los valores proporcionales a la concentración de MPS, no se puede aplicar una transformación universal (Guillén et al., 2000). Sólo una calibración experimental permite expresar las medidas nefelométricas en términos de carga particulada. Esta calibración se obtiene comparando los valores de MPS obtenidos por filtración de las muestras de agua tomadas a diferentes profundidades con los valores de lectura en FTU del nefelómetro. Dicha calibración no está, sin embargo, exenta de problemas debido a las limitaciones impuestas por el propio nefelómetro y a la imprecisión en el posicionamiento de las

botellas de muestreo en relación con las capas nefeloides. En sentido opuesto, otra fuente de errores proviene de las inexactitudes en la medición de la carga particulada impuestas por el comportamiento de los filtros o por imprecisiones en la determinación de los volúmenes de agua filtrados. Cabe considerar, por tanto, que las mediciones nefelométricas in situ son un procedimiento semicuantitativo para el estudio de las variaciones de la concentración de MPS (Oliveira et al., 2002).

A partir de los datos de concentración en  $\mu\text{g/l}$  de la MPS retenida en diversos tipos de filtros durante la campaña FLUBAL '93, Durrieu de Madron et al. (1994) realizaron una primera calibración de las lecturas nefelométricas en términos de carga particulada. Durrieu de Madron (1995) mejoró posteriormente dicha calibración utilizando un conjunto mayor de valores proveniente de campañas realizadas también en condiciones estivales. Este autor estableció una relación predictiva, obtenida mediante el método de los mínimos cuadrados, entre las medidas de turbidez del nefelómetro DIP y la carga particulada retenida en filtros de policarbonato. Esta relación, que es la empleada en este trabajo, se expresa de la siguiente manera:

$$[\text{MPS}] = 0,516 [\text{TURB}] + 140$$

$$r = 0,79$$

donde [MPS] representa la carga de MPS en  $\mu\text{g/l}$ , [TURB] los valores de nefelometría en mFTU, y  $r$  es el coeficiente de correlación calculado. Dicho coeficiente, relativamente alto, sugiere que el tamaño de grano de la MPS no cambió significativamente durante la realización de las campañas de referencia (Guillén et al., 2000).

Durrieu de Madron (1995) analizó también el conjunto de muestras diferenciando las provenientes del agua superficial, del agua intermedia y del agua de fondo, y no observó diferencias significativas entre la rectas de regresión de las diferentes capas. Tampoco se observaron diferencias importantes entre diversas áreas dentro de la zona estudiada, lo que confirmaría que, en un área geográfica limitada, se puede asumir que capas nefeloides semejantes contienen el mismo tipo de MPS (Nyffeler et al., 1996).

## 4. METODOLOGÍA

La construcción del modelo de distribución 3-D de la MPS en el MCB se ha llevado a cabo utilizando un programa para el análisis geoespacial multidimensional, la modelización y la visualización de objetos geológicos denominado *earthVision* (EV) (Dynamic Graphics, Inc., 2002).

El modelo y los cálculos subsiguientes se han realizado en varias fases. En primer lugar se ha construido una malla 2-D de la batimetría de la zona de estudio sobre la que se han corregido las posiciones de las estaciones hidrológicas (cf. Apto. 4.2). Luego se ha creado la malla 3-D de los valores de turbidez en mFTU. Estas dos mallas, combinadas, se han empleado para generar el modelo 3-D de la distribución de la MPS. Finalmente, se han efectuado los cálculos volumétricos y se ha semicuantificado la cantidad de MPS presente en el MCB en Agosto de 1993, dentro del polígono de la Figura 3.

### 4.1. Construcción de la malla batimétrica 2-D

Un buen conocimiento de la morfología submarina es fundamental para valorar su influencia sobre la distribución de la MPS y para comprender los procesos que controlan su dispersión.

La malla 2-D del relieve submarino de la zona estudiada (Figuras 2 y 3) se ha construido, principalmente, a partir de datos de batimetría de multihaz utilizados en el mapa del relieve submarino de Catalunya (Canals et al., 2004), con un paso de malla de 100 m, datos obtenidos durante la campaña MARINADA '02, a bordo del *BIO Hespérides*, en agosto de 2002. Estos datos se han completado con otros datos, fundamentalmente de batimetría de multihaz, recogidos e integrados por el Grupo MediMap (Loubrieu et al., 2005), con un paso de malla de 1 km (Figura 4). En la malla 2-D y en los modelos 3-D subsiguientes también hemos considerado la topografía terrestre, la cual ha sido integrada con los datos de batimetría. Los datos de topografía terrestre han sido extraídos de la base *GTOPO 30 Arc Second Elevation Data Set* (Earth Resources Information Systems Data Center, 1996), con un paso de malla de 30". Los valores topográficos se han atenuado 10 veces con el objeto de resaltar el relieve submarino sin restar realismo a

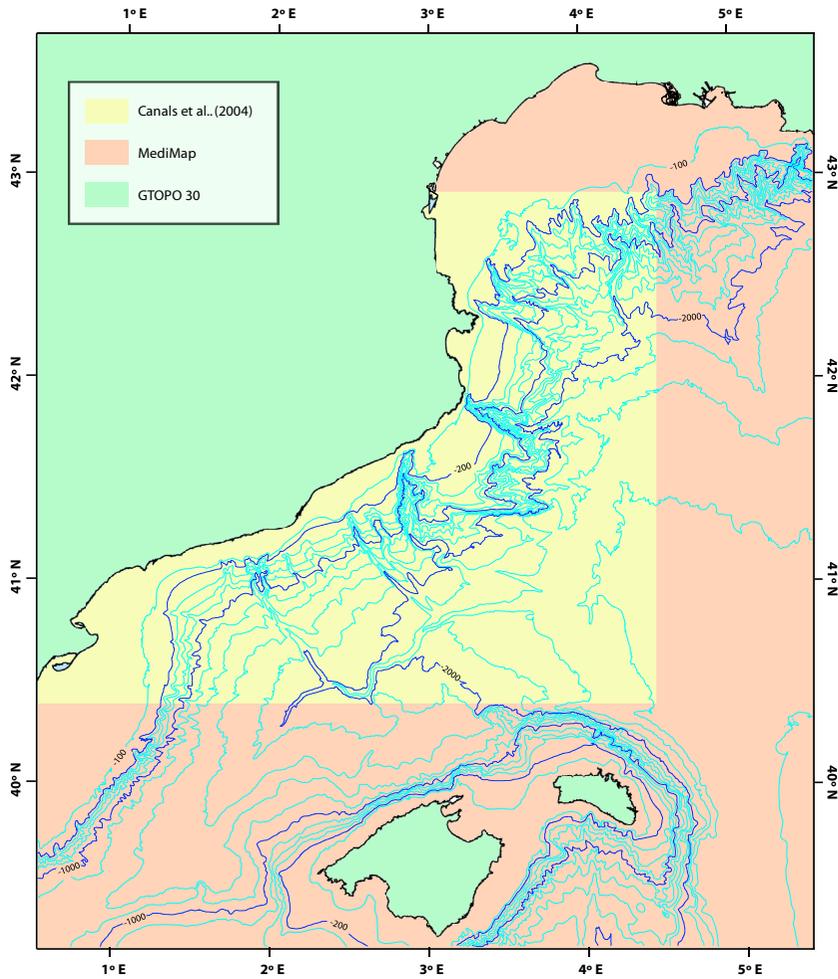


Figura 4. Distribución de los datos topográficos utilizados según fuentes. Ver explicación detallada en el texto.

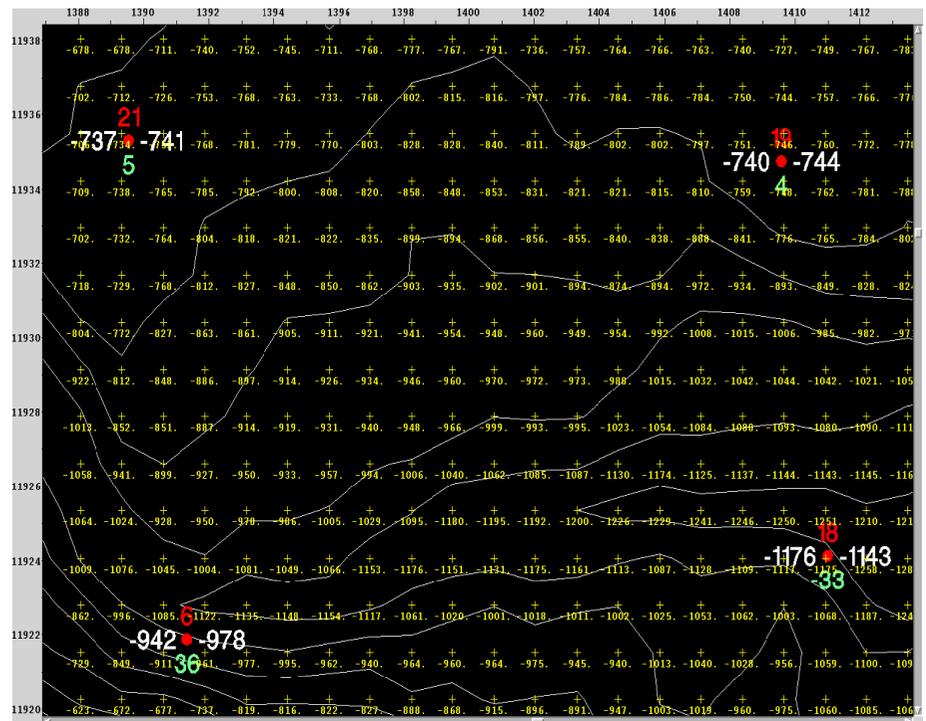


Figura 5. Corrección en pantalla de la posición de las estaciones de trabajo (puntos violetas, con el número de estación en rojo) a partir del mapa de curvas de nivel (líneas blancas) y de los valores de profundidad de la malla 2-D (cruces amarillas pequeñas) del lecho marino. A la izquierda del punto correspondiente a cada estación se muestra la profundidad máxima alcanzada por el perfil hidrográfico. A la derecha se muestra la profundidad real del lecho marino en la posición original de la estación. El valor en verde bajo cada punto es la diferencia entre ambas profundidades. Si el valor es negativo, la estación se desplaza a una nueva posición acorde con la profundidad del perfil.

los modelos finales. La línea de costa se ha extraído de la última edición del *GEBCO Digital Atlas* (British Oceanographic Data Centre, 2003).

Todos los datos han sido convenientemente editados con el fin de detectar posibles inconsistencias, y han sido transformados a la proyección Universal Transverse Mercator (UTM), huso 31, datum ED50. A partir del conjunto de datos descritos se ha generado una malla 2-D de 500 m de resolución.

#### **4.2. Corrección de la situación de las estaciones**

Las coordenadas de las estaciones hidrológicas de la campaña oceanográfica (cf. Apto. 3.1) también han sido transformadas a la citada proyección UTM. La deriva del buque durante los trabajos en estación ha sido compensada asignando a cada estación la posición correspondiente al instante central de realización del perfil hidrográfico correspondiente. El efecto de deriva del buque, en algunos casos de centenares de metros, unido a la limitada precisión del sistema de GPS utilizado (cf. Apto. 3.1), ha provocado que, en contados casos, la profundidad máxima de algunos perfiles excediera la profundidad para ese punto según la malla batimétrica 2-D de alta resolución. Esta inconsistencia ha sido corregida seleccionando el punto de máxima profundidad en cada perfil y ajustando posteriormente en pantalla la posición de cada una de las estaciones mal ubicadas desplazando el perfil hidrográfico correspondiente hasta una nueva posición cuya profundidad se correspondiese con la registrada durante los trabajos en estación (Figura 5).

Una vez corregidas las posiciones de las estaciones problemáticas, los datos se han exportado y editado directamente en el visualizador de EV, lo que también ha permitido detectar valores erróneos que han sido eliminados. El fichero resultante en formato ASCII ha sido utilizado para la creación de la malla 3-D de la turbidez.

#### **4.3. Creación de la malla 3-D de la turbidez**

La malla 3-D de la turbidez se ha creado utilizando el método descrito en Casamor (2006). Dado que la distribución de las estaciones de trabajo no es uniforme, y dado que la separación

entre las mismas oscila entre unos pocos kilómetros en las regiones más someras y más de 50 km en las regiones más alejadas de la costa, se ha decidido adoptar un tamaño medio de malla en X-Y de 10 km x 10 km. Esta resolución horizontal es, sin duda, superior al tamaño de ciertas estructuras nefelométricas, que puede ser de decamétrico en la proximidad de las fuentes principales de MPS (Durrieu de Madron, 1991). Esta malla se considera, no obstante, adecuada para representar las estructuras nefelométricas principales a escala de la cuenca.

La distribución vertical de los datos en cada estación es, en cambio, prácticamente continua en relación con la distancia horizontal entre estaciones (cf. Apto. 3.1). Los datos en vertical resuelven muchas de las estructuras de pequeñas dimensiones presentes en las masas de agua. Para simplificar el proceso de construcción de la malla 3-D, se ha optado por una distancia vertical de 5 m entre celdas, más que suficiente para ilustrar las variaciones de turbidez.

La diferencia de distancias entre las dimensiones vertical y horizontal puede dar lugar a artefactos de interpolación. Dada la geometría de las estructuras consideradas, que suelen ser estiradas y continuas, al calcular la malla 3-D se ha aplicado la función de influencia vertical (Casamor, 2006), con un valor de 0,5.

#### **4.4. Generación del modelo 3-D**

El modelo 3-D de distribución de la MPS consta de dos bloques. El bloque superior es una representación de la concentración en mFTU de la MPS. Este bloque está cortado y limitado lateralmente por el polígono mostrado en la Figura 3, y en su base por la malla 2-D de la batimetría. El bloque inferior es la representación de la topografía de la zona de estudio. El modelo total resulta de la combinación posterior de ambos bloques (Casamor, 2006).

A partir de este modelo se han obtenido secciones verticales y horizontales con distintas orientaciones siguiendo, por ejemplo, transectos de estaciones o los ejes de cañones submarinos. Los cortes horizontales se han realizado a intervalos de profundidad de 100 m para obtener cortes parciales dentro del volumen de agua considerado. Como veremos

posteriormente, la visualización 3-D de todas estas secciones ilustra con gran claridad la distribución de la MPS en el MCB y proporciona las claves para comprender los procesos que la gobiernan.

#### **4.5. Cálculos volumétricos y cuantificación de la MPS**

Los modelos construidos permiten efectuar directa y eficazmente cálculos volumétricos, tanto para todo el volumen de agua como para las diversas provincias fisiográficas y rangos de profundidad. También se han calculado las concentraciones medias de MPS en mFTU.

Para proceder a la semicuantificación de la MPS deben seguirse los siguientes pasos:

- Transformación de los valores en mFTU de la malla 3-D obtenida a concentraciones en  $\mu\text{g/l}$ , según la fórmula del Apartado 3.2.
- Cálculo de la cantidad total en kg de MPS para cada celda de la nueva malla.
- Suma de los valores de todas las celdas, cuyo valor final se expresa en Tm.

### **5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **5.1. Distribución espacial de la MPS**

Varios perfiles hidrográficos ilustrativos (Figura 6), y diversas visualizaciones generales (Figuras 7 a 9) y secciones del modelo (Figuras 10 a 14) muestran un buen número de capas nefeloides. La situación y el desarrollo de estas estructuras están controladas por el relieve submarino, la hidrología y la cercanía de las fuentes de MPS. Las capas nefeloides facilitan la exportación de la MPS desde la zona costera hasta el margen distal y la cuenca. De un primer examen de las visualizaciones se desprende que las estructuras nefeloides son más prominentes en el margen catalán que en el Golfo de León y el margen balear.

En todas las estaciones se ha observado una capa nefeloide superficial (CNS) cuyo espesor máximo es de 100 m. El desarrollo de la CNS está ligado a la termoclina estacional (Figura 6), a la que corresponde un fuerte gradiente de den-

sidad que constituye una interfase capaz de retener partículas de diversa naturaleza y origen. La CNS tiene, por tanto, una gran importancia en la distribución de la MPS. El desarrollo vertical de la CNS es mayor aguas afuera de Marsella y de las Baleares. Sobre el pie del talud y sobre el fondo de cuenca, la CNS está marcadamente separada de las capas subyacentes por un nivel de aguas claras ( $<100$  mFTU) (Figura 7). A partir de su composición elemental, Calafat et al. (1996) identificaron un origen principalmente biológico para las partículas de la CNS.

En algunos sectores de la plataforma continental catalana ( $<150$  m) se desarrolla una capa nefeloide de fondo (CNF), formada por una mezcla de partículas de origen fluvial y de partículas resuspendidas en la misma plataforma. En ambos casos, la CNF transfiere MPS hacia el talud. La CNF es especialmente notable en la plataforma del Ebro, donde presenta concentraciones superiores a los 1.000 mFTU (Figuras 10 y 11). En ciertos cañones se observa una CNF cuya densidad decrece rápidamente al aumentar la profundidad. En el talud distal y en el glacis continental, la CNF está prácticamente ausente. Sólo aparece esporádicamente en sectores restringidos, en estrecha relación con la dinámica de la capa límite béntica (Calafat et al., 1996) o con resuspensiones atribuidas a corrientes de fondo (Chronis et al., 2002).

La presencia de al menos una capa nefeloide intermedia (CNI) es un rasgo característico de toda el área de estudio, especialmente del segmento de margen comprendido entre los cañones de Lacaze-Duthiers y del Foix (Figura 2). La principal CNI suele aparecer por debajo de la cota de la ruptura de pendiente del borde de plataforma, donde se desgaja de la CNF de plataforma. Esta CNI está más diferenciada, y es más gruesa (unos 250 m) y extensa (unos 20 km hacia la cuenca) en el margen catalán meridional que en el Golfo de León. Esta marcada asimetría norte-sur en el desarrollo de la CNI principal se atribuye al efecto de la CLPC (Durrieu de Madron et al., 1991). De NE a SW, la CLPC disminuye de espesor y se aleja paulatinamente del talud, circunstancia que permitiría a los nefeloides intermedios extenderse más hacia el centro de cuenca.

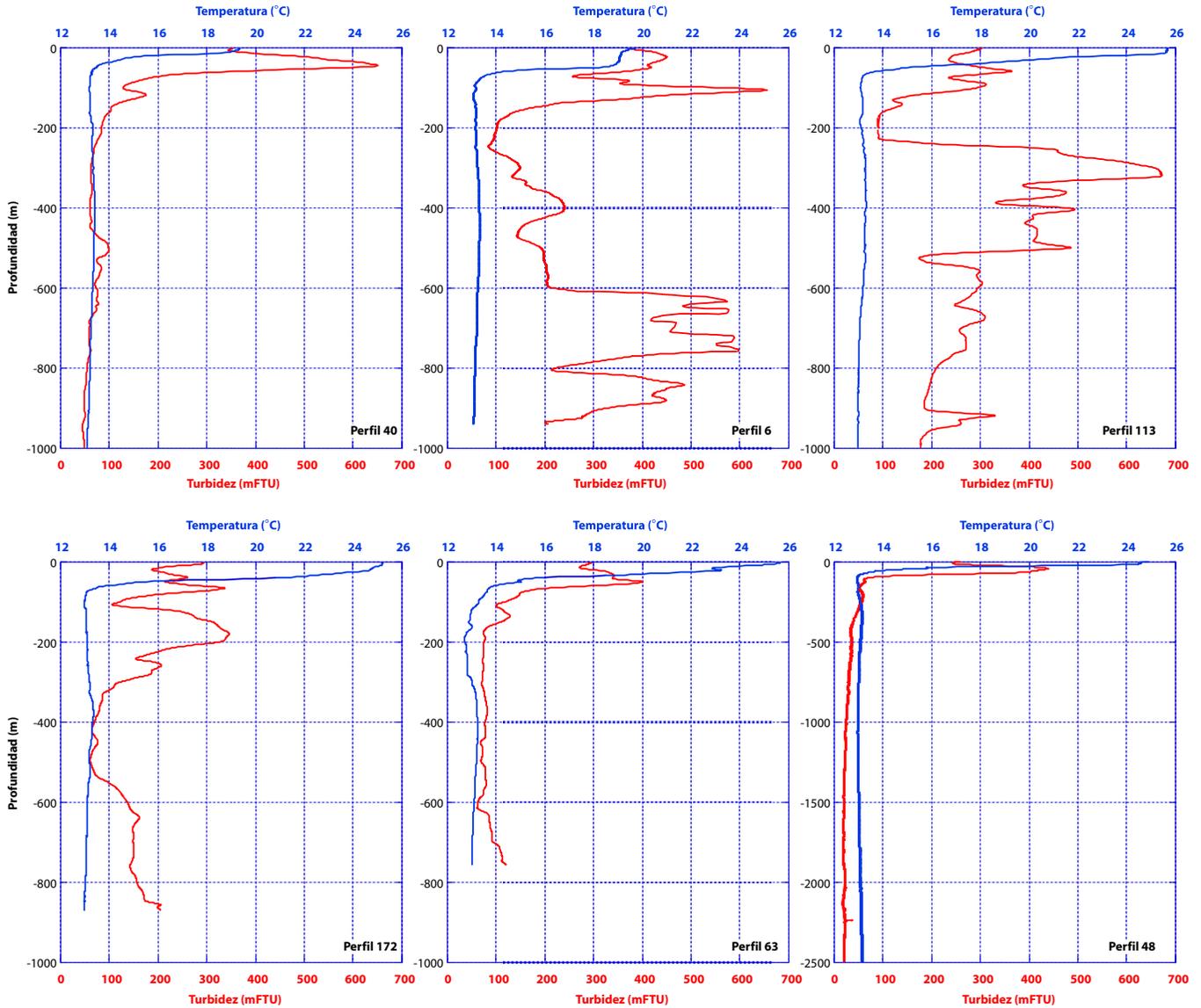


Figura 6. Perfiles hidrográficos ilustrativos del área de estudio. En todos los perfiles se observa la relación entre la termoclina y la capa nefeloide superficial. También se observan capas nefeloides intermedias y profundas en los perfiles de las estaciones 6, 113 y 172. Las escalas son iguales para todos los gráficos, excepto la escala de profundidad del gráfico del Perfil 48. Localización de los perfiles en la Figura. 4.3. Perfil 40: Cañón de Planier; Perfil 6: Cañón de Lacaze-Duthiers; Perfil 113: Cañón del Foix; Perfil 172: Margen del Ebro; Perfil 63: Talud de Menorca; Perfil 48: Canal de Valencia.

También se encuentran otras CNIs, con distintos grados de desarrollo, a cotas intermedias sobre el talud (Figura 15). De éstas, la más importante se sitúa sobre el talud superior, a unos 300-500 m de profundidad. Las CNIs se prolongan unos pocos kilómetros hacia el centro de cuenca y están especialmente desarrolladas sobre los ejes de los cañones, desde donde en algunas ocasiones se extienden lateralmente hacia las vertientes e interfluvios adyacentes (Figura 15). Las CNIs más profundas estarían ligadas a la combinación de procesos de resuspensión inducidos por corrientes profundas y por la rotura de ondas

internas contra el talud continental (Chronis et al., 2000), y a la presencia de picnoclinas estructurales en la columna de agua (Calafat et al., 1996; Puig et al., 2001b; McPhee-Shaw et al., 2004). Las CNIs están constituidas por material fundamentalmente litogénico (Calafat et al., 1996) y su concentración decrece aguas afuera del talud, desde unos 500 mFTU hasta unos 200 mFTU. Este descenso se atribuye a la dilución progresiva de las aguas con mayor carga particulada y, sólo en parte, a la decantación. Los perfiles del margen balear muestran CNIs de menor densidad situadas sobre el talud septentrional de Menorca (Figura 7).

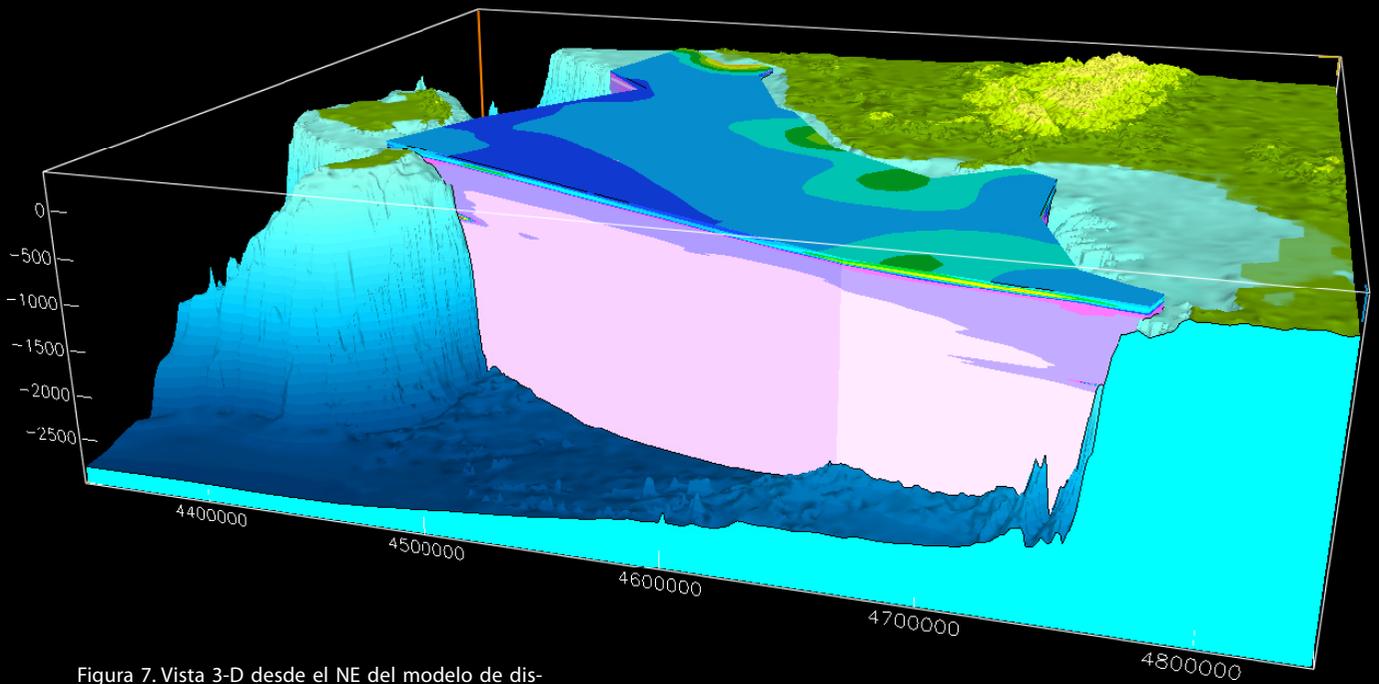


Figura 7. Vista 3-D desde el NE del modelo de distribución de la MPS. Las concentraciones son más elevadas en superficie y disminuyen rápidamente en profundidad. Nótese la presencia de una CNI en el talud al norte de Menorca. Concentraciones en mFTU. La exageración vertical es de 40 veces.

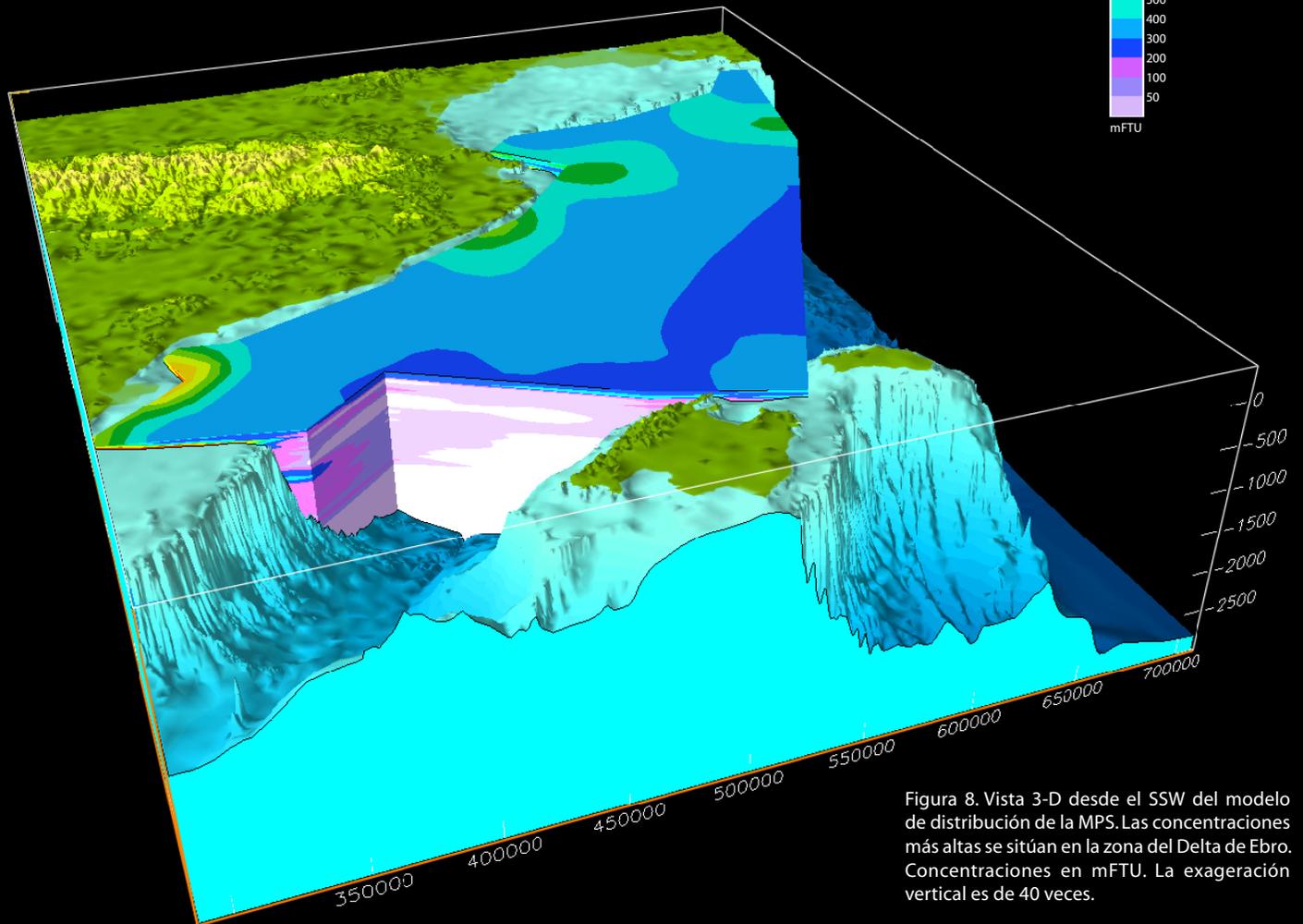


Figura 8. Vista 3-D desde el SSW del modelo de distribución de la MPS. Las concentraciones más altas se sitúan en la zona del Delta de Ebro. Concentraciones en mFTU. La exageración vertical es de 40 veces.

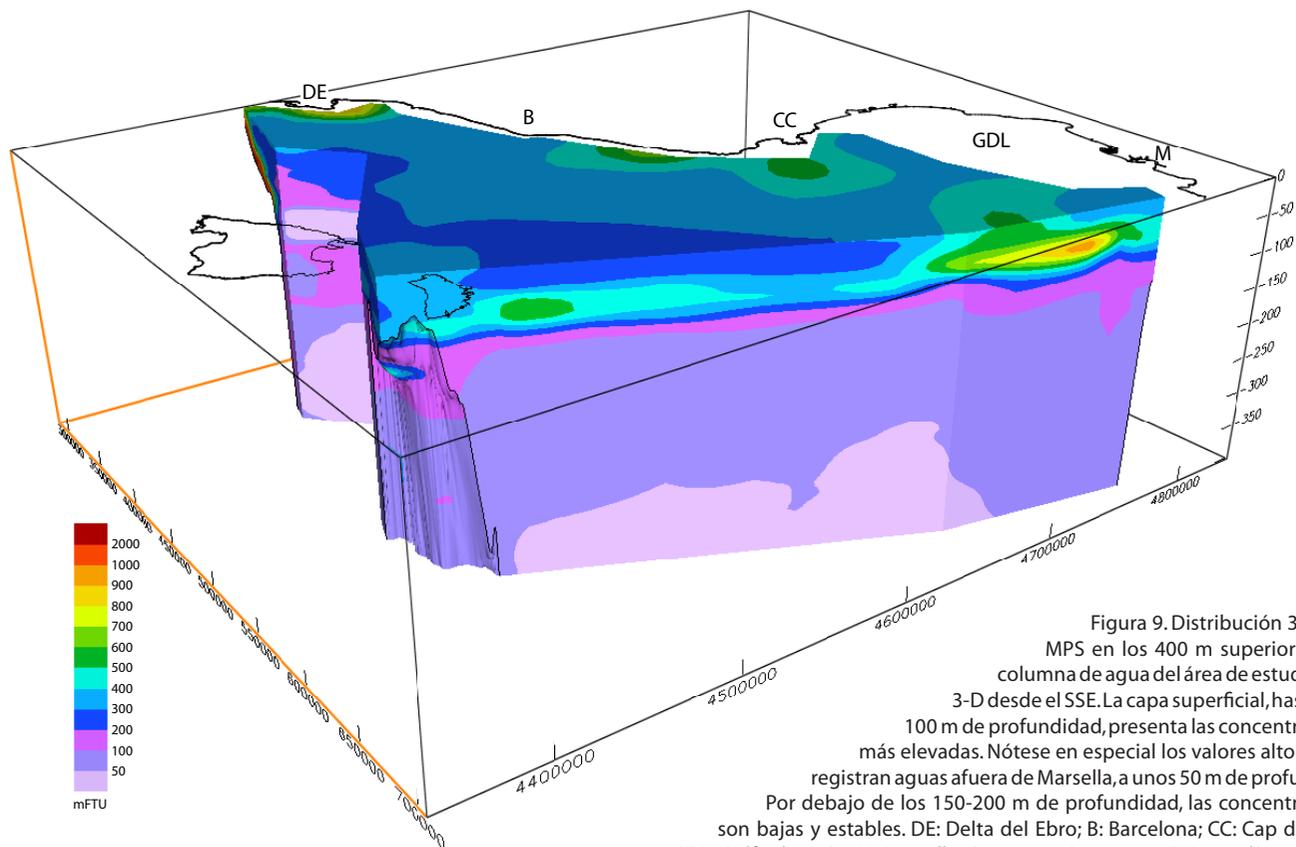


Figura 9. Distribución 3-D de la MPS en los 400 m superiores de la columna de agua del área de estudio. Vista 3-D desde el SSE. La capa superficial, hasta unos 100 m de profundidad, presenta las concentraciones más elevadas. Nótese en especial los valores altos que se registran aguas afuera de Marsella, a unos 50 m de profundidad. Por debajo de los 150-200 m de profundidad, las concentraciones son bajas y estables. DE: Delta del Ebro; B: Barcelona; CC: Cap de Creus; GDL: Golfo de León; M: Marsella. Concentraciones en mFTU. Las líneas negras corresponden a la línea de costa. La exageración vertical es de 150 veces.

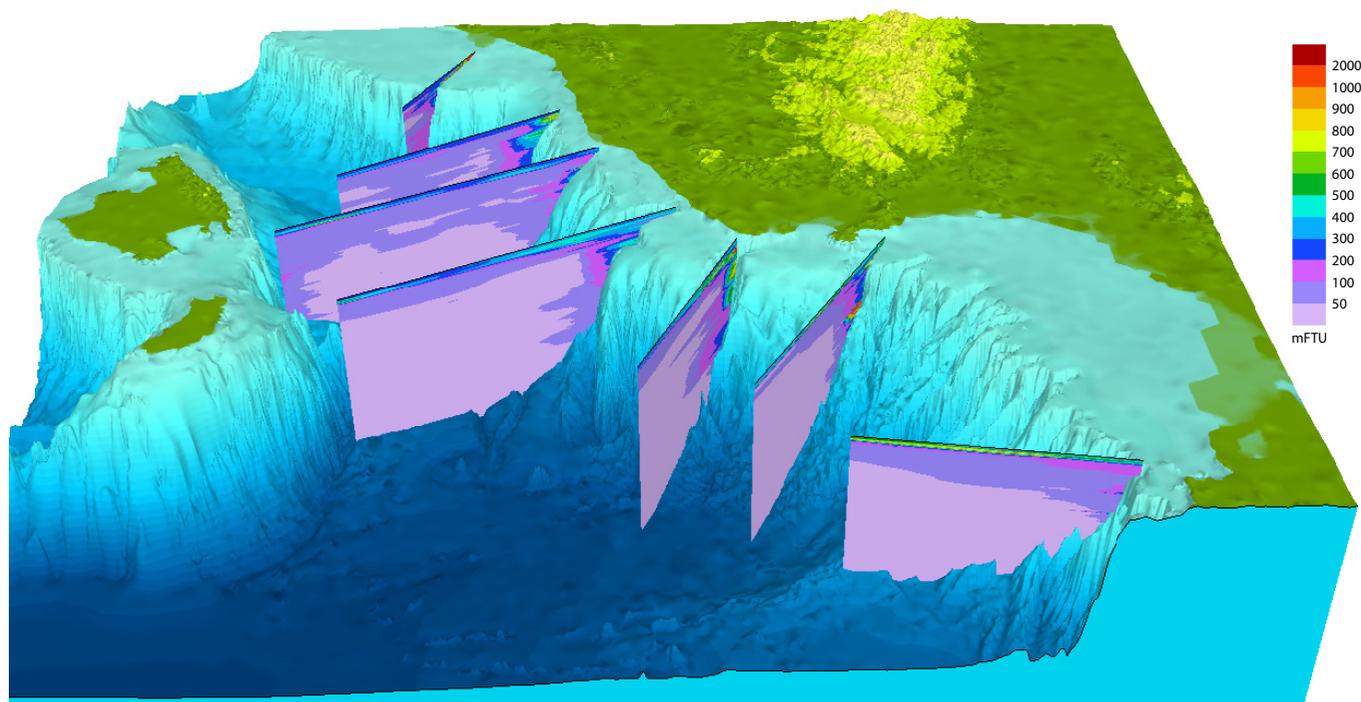


Figura 10. Vista 3-D desde el E de un conjunto de secciones verticales perpendiculares al margen, en la proximidad de los principales cañones submarinos. Se observan varias capas nefeloides que se describen en el texto. Concentraciones en mFTU. La exageración vertical es de 40 veces.

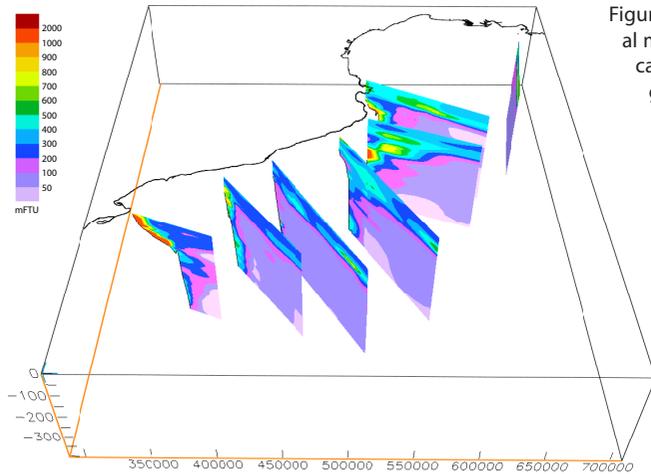


Figura 11. Vista 3-D desde el S de un conjunto de secciones verticales perpendiculares al margen, para los 400 m superiores de la columna de agua. Se observan diversas capas nefeloides que se describen en el texto. Concentraciones en mFTU. La exageración vertical es de 150 veces.

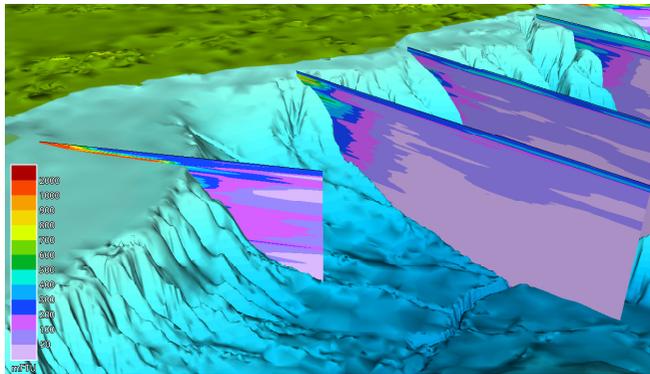


Figura 12. Detalle de las secciones verticales del sector sur del margen catalán y de la plataforma del Ebro. Vista 3-D desde el SSE. La capa nefeloides de fondo está muy marcada aguas afuera del delta del Ebro. Se observa como, en el borde de plataforma, esta CNF origina una CNI. Ver explicación en el texto. Concentraciones en mFTU.

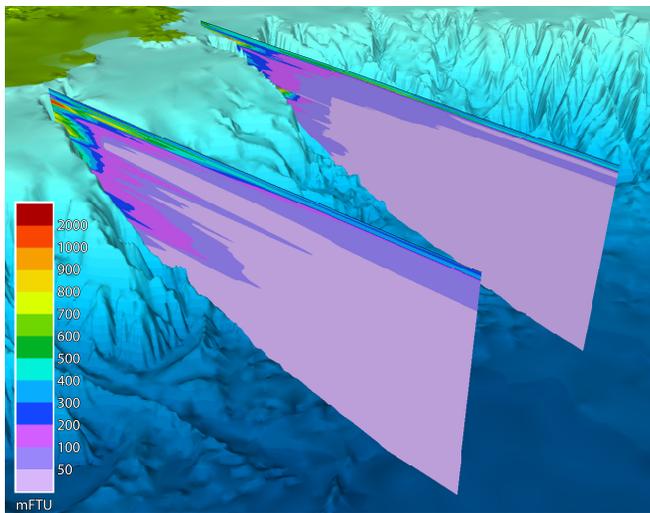


Figura 13. Detalle de las secciones verticales realizadas en los cañones de La Fonera y del Cap de Creus. Vista 3-D desde el SSE. Ver explicación en el texto. Concentraciones en mFTU.

Los cortes horizontales superpuestos de la Figura 16 permiten apreciar la distribución horizontal a gran escala de la MPS en el conjunto de la columna de agua y su evolución en profundidad. En superficie, los valores superan siempre los 200 mFTU. Las mayores concentraciones se localizan en los márgenes terrígenos de Cataluña y del Golfo de León, especialmente en las cabeceras de los cañones. Todos estos lugares están bajo la influencia de las principales fuentes y vías de entrada de MPS de origen continental. Así, los valores más altos (1.000 mFTU) se han medido en la plataforma del Ebro, mientras que los más bajos se sitúan a lo largo de una franja central de orientación SW-NE situada entre los márgenes balear y catalán (Figura 17). En las aguas intermedias, a partir de los 200 m, las concentraciones disminuyen paulatinamente con la profundidad. Sólo la plataforma y el talud continental catalanes septentrionales presentan concentraciones significativas asociadas a la presencia de CNIs. Entre 400-500 m de profundidad se produce un incremento relativo sobre el talud. Otro incremento relativo se localiza sobre los 600 m de profundidad. A partir de los 800 m de profundidad, se produce un descenso general importante. Por debajo de los 1.500 m de profundidad, las concentraciones pueden considerarse muy homogéneas (Figura 16).

La Figura 18 muestra la distribución de las concentraciones de MPS inmediatamente encima del lecho marino. La semejanza con la distribución en superficie es notable, con máximos en los márgenes terrígenos de Cataluña y del Golfo de León más occidental. Las concentraciones más elevadas corresponden a la plataforma y el talud superior en todo el MCB. Por sectores, los valores más altos (>2.000 mFTU) se han medido al sur de la desembocadura del Ebro donde la MPS se concentra en una CNF muy desarrollada que se extiende sobre toda la plataforma continental. La interacción de la CLPC con el fondo marino y la formación de giros por efecto topográfico en las cabeceras de los cañones submarinos

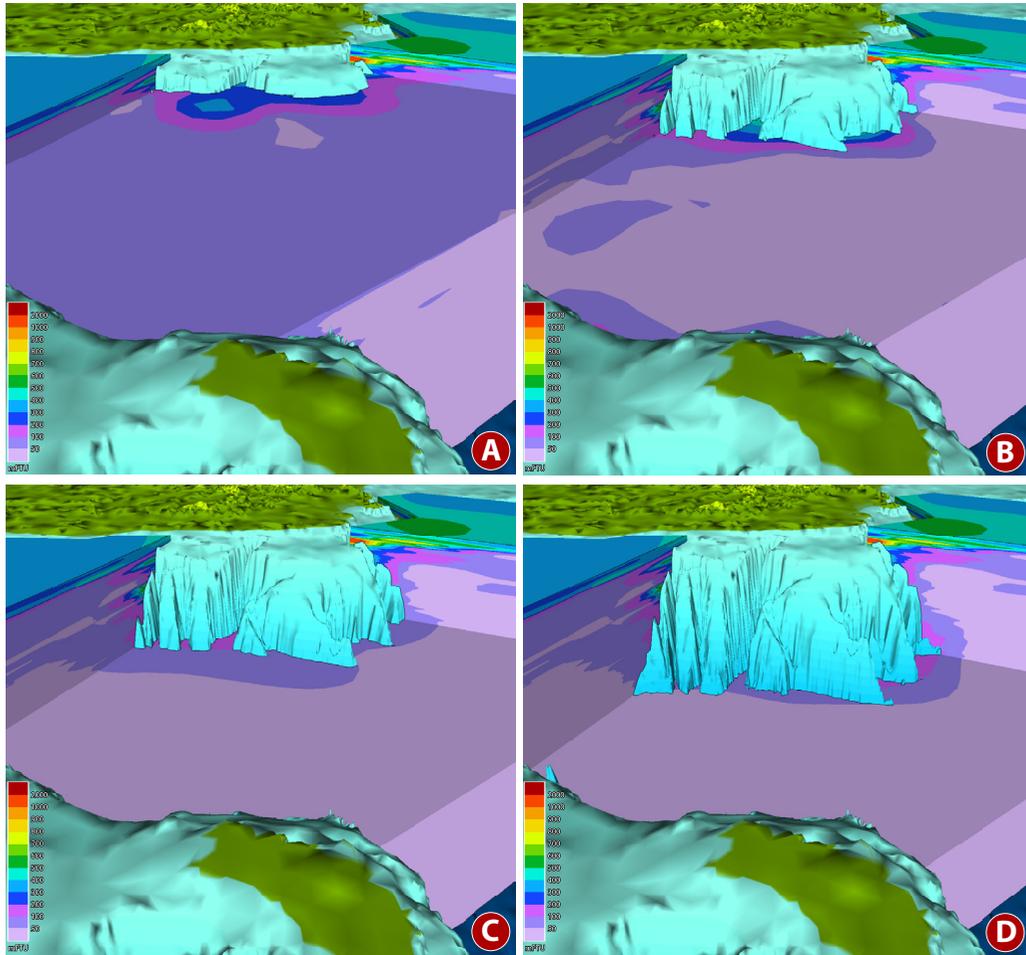


Figura 14. Cortes a 300 m (A), 700 m (B), 1.000 m (C) y 1.400 m (D) de profundidad en el sector del Cañón de Blanes. Vista 3-D desde el SSE. Concentraciones en mFTU.

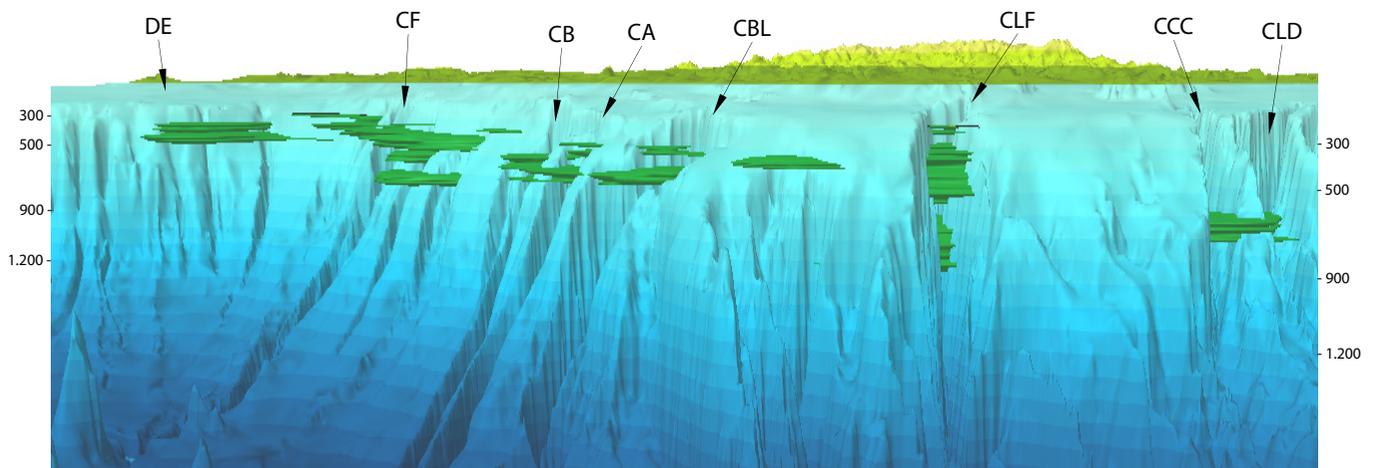


Figura 15. Vista 3-D desde el E de las capas nefeloides intermedias del margen continental catalán con una concentración de 500-600 mFTU. La mayoría de capas se sitúan sobre el eje de los principales cañones submarinos. En algunos casos, especialmente hacia el sur del margen, las capas pueden extenderse hacia los interfluvios que separan los distintos cañones. También hacia el sur, la profundidad a la que aparecen estas capas disminuye progresivamente. La equidistancia entre las franjas batimétricas en colores de 100 m. Valores de profundidad en m. DE: Delta del Ebro; CF: Cañón del Foix; CB: Cañón del Besòs; CA: Cañón de Arenys; CBL: Cañón de Blanes; CLF: Cañón de La Fonera; CCC: Cañón del Cap de Creus; CLD: Cañón de Lacaze-Duthiers.

podrían explicar aumentos locales de la concentración de MPS (Calafat et al., 1996; Puig y Palanques, 1998), como los observados en los cañones del Cap de Creus, La Fonera y el Foix.

El límite inferior de la franja definida por el intervalo de concentración de 50-100 mFTU resigue el talud, situándose a una profundidad de unos 1.200 m (Figura 18). A partir de aquí, las aguas situadas inmediatamente encima del lecho marino son muy claras (<50 mFTU), excepto a lo largo del Canal de Valencia donde se observan ligeros incrementos que atribuimos tentativamente a la resuspensión provocada por corrientes de fondo.

**5.2. Cálculos de volumen, concentración y masa**

Los cálculos volumétricos y de concentraciones medias se han realizado en el conjunto del volumen de agua, por provincias fisiográficas y por intervalos de profundidad. Los resultados de los cálculos volumétricos para cada uno de estos “contenedores” se presentan en forma de porcentajes de abundancia de cada uno de los intervalos de concentración considerados.

El volumen de agua investigado es de 86.000 km<sup>3</sup>. Dos terceras partes de este volumen son aguas muy claras (< 50 mFTU) (Figuras 19 y 20). Si a este porcentaje le sumamos el correspondiente a las aguas claras (50-100 mFTU), resulta que más del 85 % del volumen de agua presenta concentraciones de MPS bajas o muy bajas.

En la parte inferior de la Figura 19, los resultados se presentan desglosados para las dos grandes provincias fisiográficas del área investigada, la plataforma continental (<150 m de profundidad) y el conjunto talud-glacis-cuenca. En este punto, es importante recordar que el volumen estudiado en la plataforma continental (520 km<sup>3</sup>) representa una pequeña parte (15%) del volumen total de

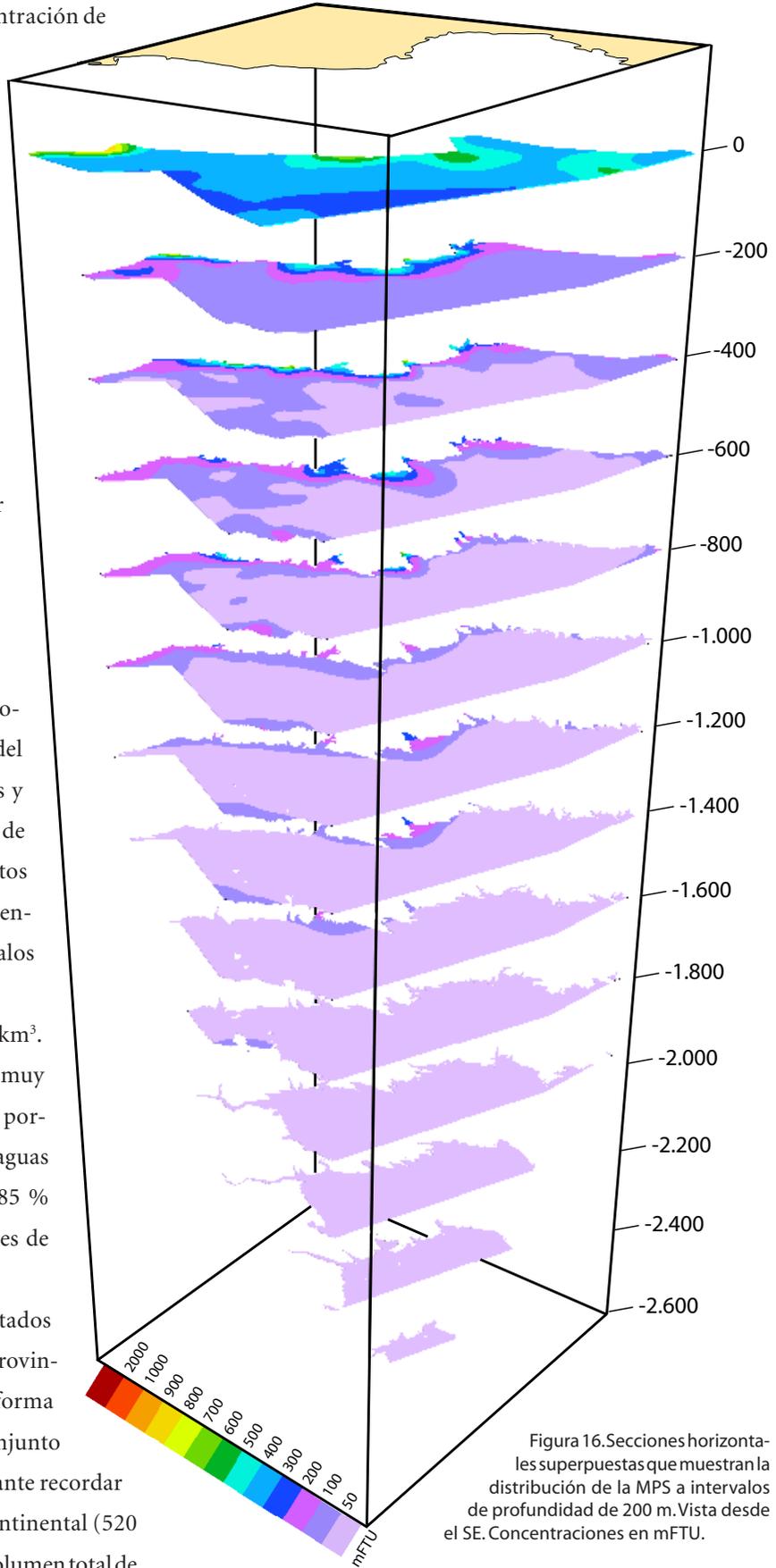


Figura 16. Secciones horizontales superpuestas que muestran la distribución de la MPS a intervalos de profundidad de 200 m. Vista desde el SE. Concentraciones en mFTU.

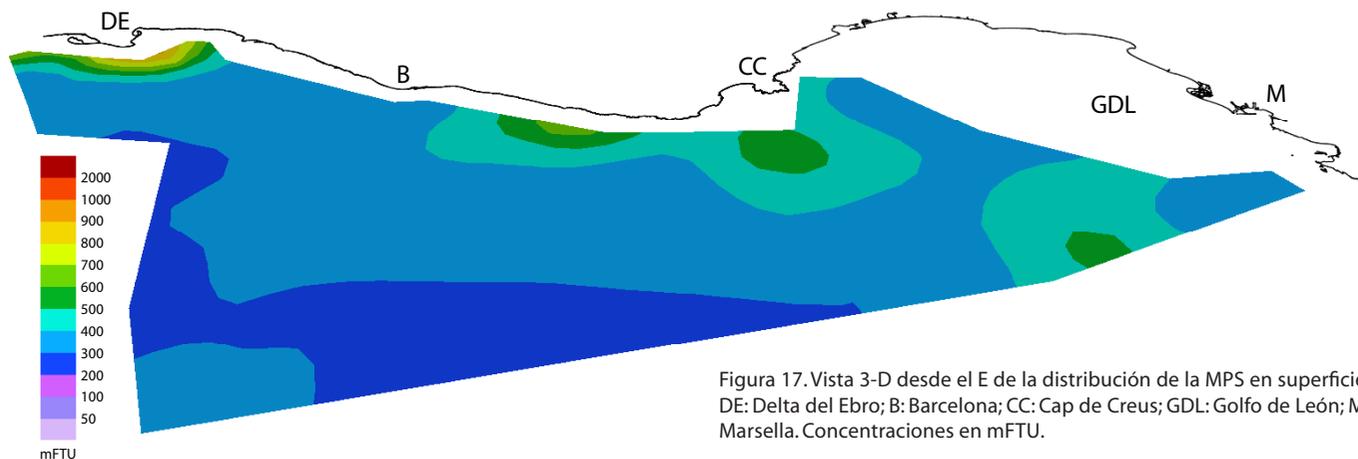


Figura 17. Vista 3-D desde el E de la distribución de la MPS en superficie. DE: Delta del Ebro; B: Barcelona; CC: Cap de Creus; GDL: Golfo de León; M: Marsella. Concentraciones en mFTU.

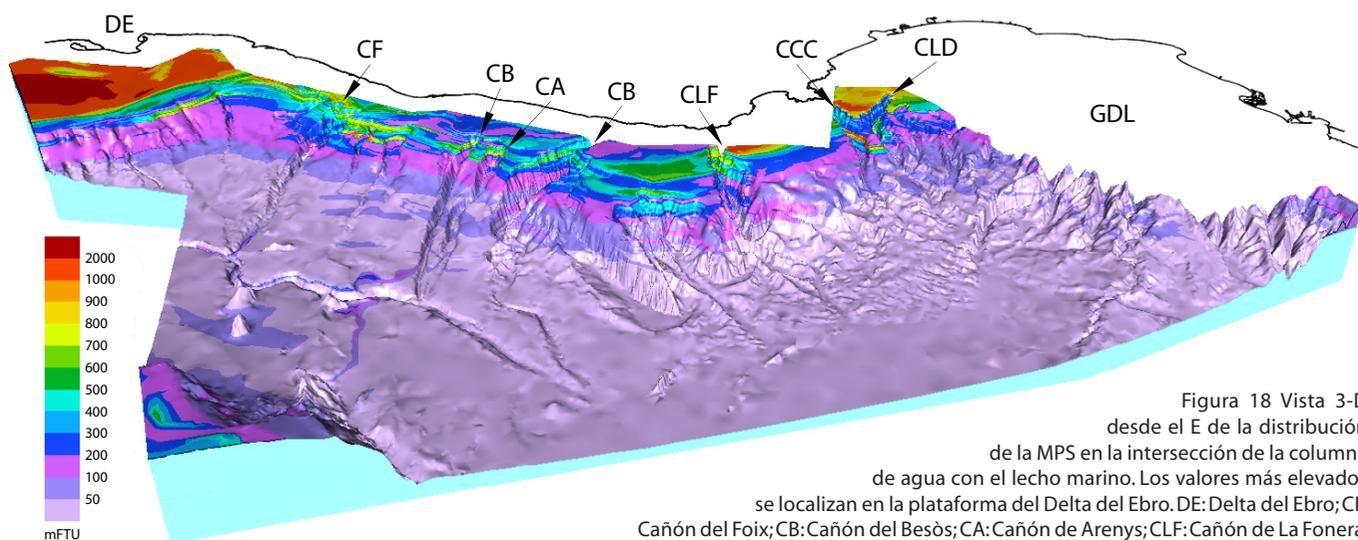


Figura 18 Vista 3-D desde el E de la distribución de la MPS en la intersección de la columna de agua con el lecho marino. Los valores más elevados se localizan en la plataforma del Delta del Ebro. DE: Delta del Ebro; CF: Cañón del Foix; CB: Cañón del Besòs; CA: Cañón de Arenys; CLF: Cañón de La Fonera; CCC: Cañón del Cap de Creus; CLD: Cañón de Lacaze-Duthiers; GDL: Golfo de León.

agua existente sobre el conjunto de la plataforma, desde la línea de costa hasta el borde de plataforma. Dado que el volumen de agua en la zona litoral, aunque pequeño, contiene concentraciones de MPS más elevadas, resultaría poco realista realizar una extrapolación de los valores aquí obtenidos, referidos exclusivamente al área de estudio delimitada en la Figura 3, al conjunto de la plataforma.

Las proporciones de los diferentes intervalos de concentración varían notablemente de una o otra provincia fisiográfica. El gráfico correspondiente a la plataforma presenta un grupo de intervalos de concentración con abundancias similares.

Debe tenerse presente, no obstante, que las aguas que recubren la plataforma representan menos del 1 % del volumen total de agua estudiada. En esta zona, sobre la plataforma, predominan concentraciones intermedias (100-600 mFTU) en más del 80 % del volumen de agua. El intervalo de concentración más abundante (28 %) es el de 300-400 mFTU. La provincia de talud-glacis-cuenca contiene poco más del 99 % del volumen de agua. Por ello, las proporciones de los diferentes intervalos de concentración son muy parecidas a las del gráfico correspondiente al volumen total de agua (Figura 19, parte superior).

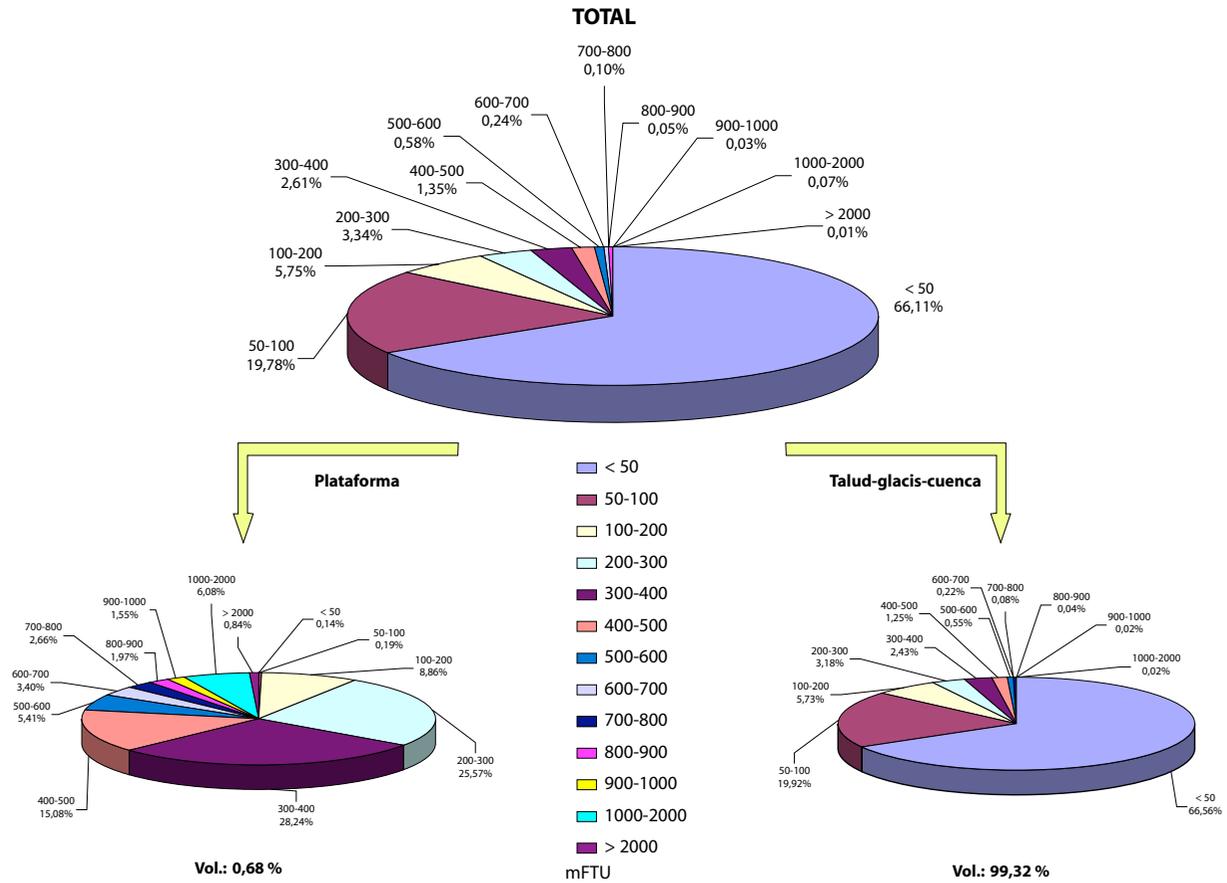


Figura 19. Gráficos circulares de la concentración de MPS en el área de estudio. En la parte inferior se diferencian la zona de plataforma (hasta la isóbata de -150 m) de la de talud-glacis-cuenca. Ver explicación en el texto.

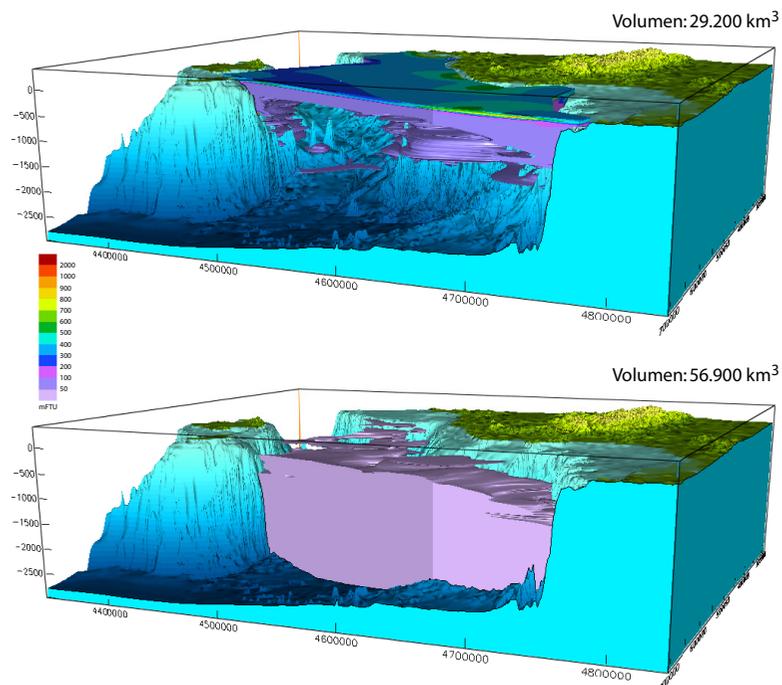


Figura 20. Vistas 3-D desde el NE que muestran la distribución de los volúmenes de agua que contienen concentraciones superiores (imagen superior) e inferiores (imagen inferior) a 50 mFTU. En cada caso se indica el volumen total de agua que corresponde.

La Figura 21 muestra las abundancias relativas de cada intervalo de concentración en cinco intervalos de profundidad. Esta figura corrobora gráficamente el predominio de valores de concentración intermedios hasta 400 m, profundidad a partir de la cual el porcentaje de aguas muy claras aumenta hasta superar el 99 % entre la isóbata de 2.000 m y el lecho marino.

Las concentraciones medias de MPS en el área investigada son de 496 mFTU sobre la plataforma continental y de 102 mFTU sobre el conjunto talud-glacis-cuenca (Figura 22). En otras palabras, la concentración media es casi cinco veces mayor sobre la plataforma. Por intervalos de profundidad, la concentración media decrece con la profundidad desde 292 mFTU en el intervalo de 0-150 m hasta 29 mFTU en el intervalo más profundo. El descenso relativo más importante, de casi 2/3, se produce entre los intervalos 0-150 m y 150-400 m. Más abajo, los descensos entre intervalos de profundidad se sitúan en el 30-40 %. En la Figura 22 también se indican los valores atribuidos a las masas de agua de la zona (cf. Apto. 3.1).

La masa total de MPS en el área investigada durante la campaña FLUBAL '93 es de algo más de 15,5 millones de Tm (Figura 23). La mayor parte de dicha masa corresponde a las aguas que sobrenadan el conjunto talud-glacis-cuenca. En la vertical, los intervalos de profundidad de 0-150 m y de 150-400 m contienen prácticamente la misma cantidad de MPS, unos 2,4 millones de Tm. El intervalo de 800-2.000 m es el que alberga una mayor cantidad de MPS, unos 6,5 millones de Tm, aunque la relación Tm/m de este intervalo es considerablemente menor a la de los intervalos de profundidad superiores (Figura 23). En este punto es conveniente recordar que los cálculos de la cantidad total de MPS a partir de las concentraciones en mFTU están sometidos a los errores mencionados en el Apartado 3.2.

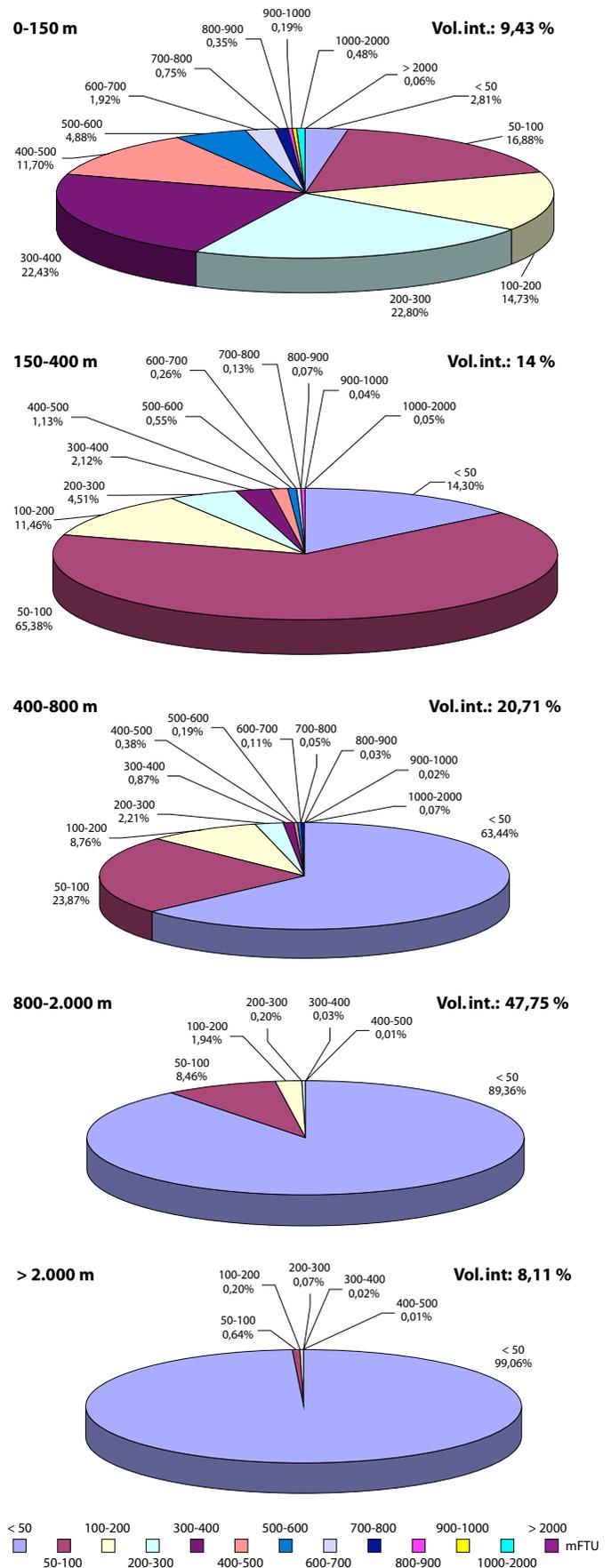


Figura 21. Gráficos circulares de la concentración de MPS por intervalos de profundidad. Por debajo de 800 m de profundidad, más del 90% de agua de cada intervalo presenta concentraciones inferiores a 50 mFTU.

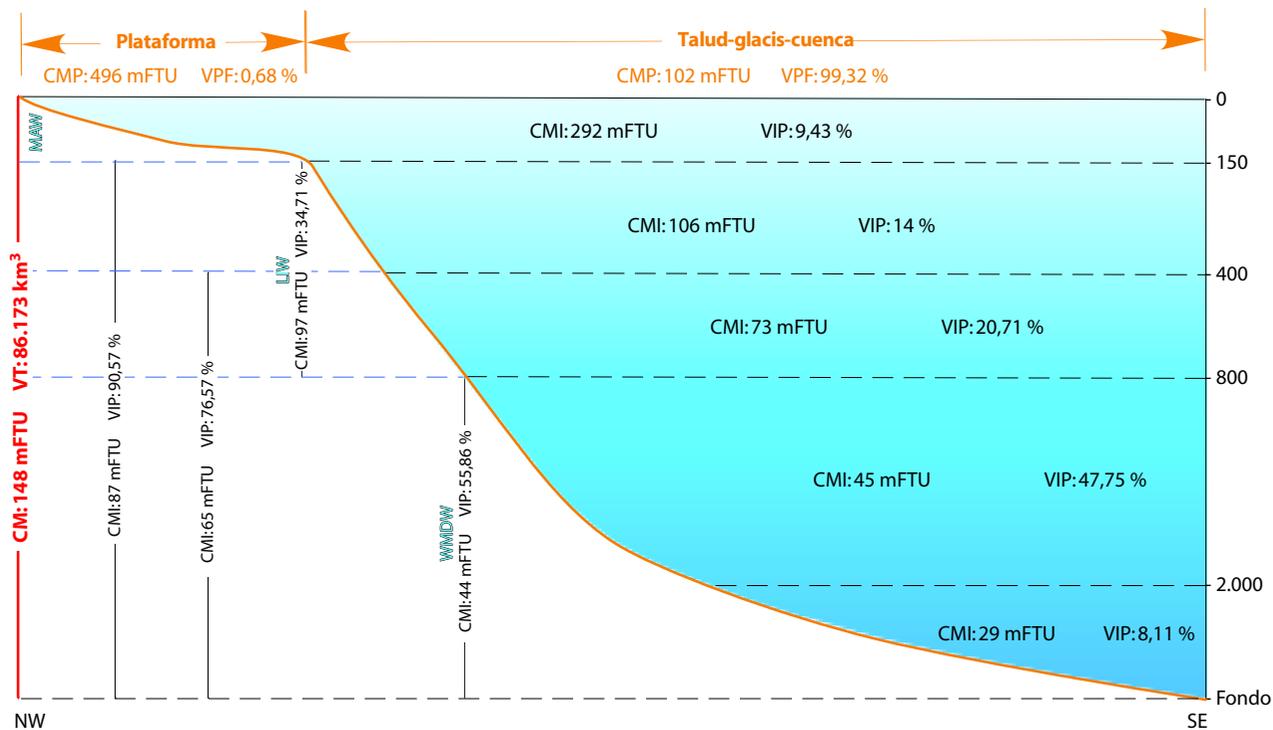


Figura 22. Sección ilustrativa del MCB donde se indican las concentraciones medias de la MPS, en mFTU, en una serie de intervalos batimétricos significativos (0-150 m, 150-400 m, 400-800 m, 800-2.000 m, y 2.000 m-fondo; ver texto). CM: Concentración media total; VT: Volumen total de agua; CMP: Concentración media de la provincia fisiográfica de que se trate; VPF: Porcentaje de volumen de agua sobre la provincia fisiográfica de que se trate; CMI: Concentración media en el intervalo de profundidad; VIP: Porcentaje de volumen de agua en el intervalo de profundidad; MAW: Agua Atlántica Modificada; LIW: Agua Levantina intermedia; WMDW: Agua Profunda del Mediterráneo Occidental.

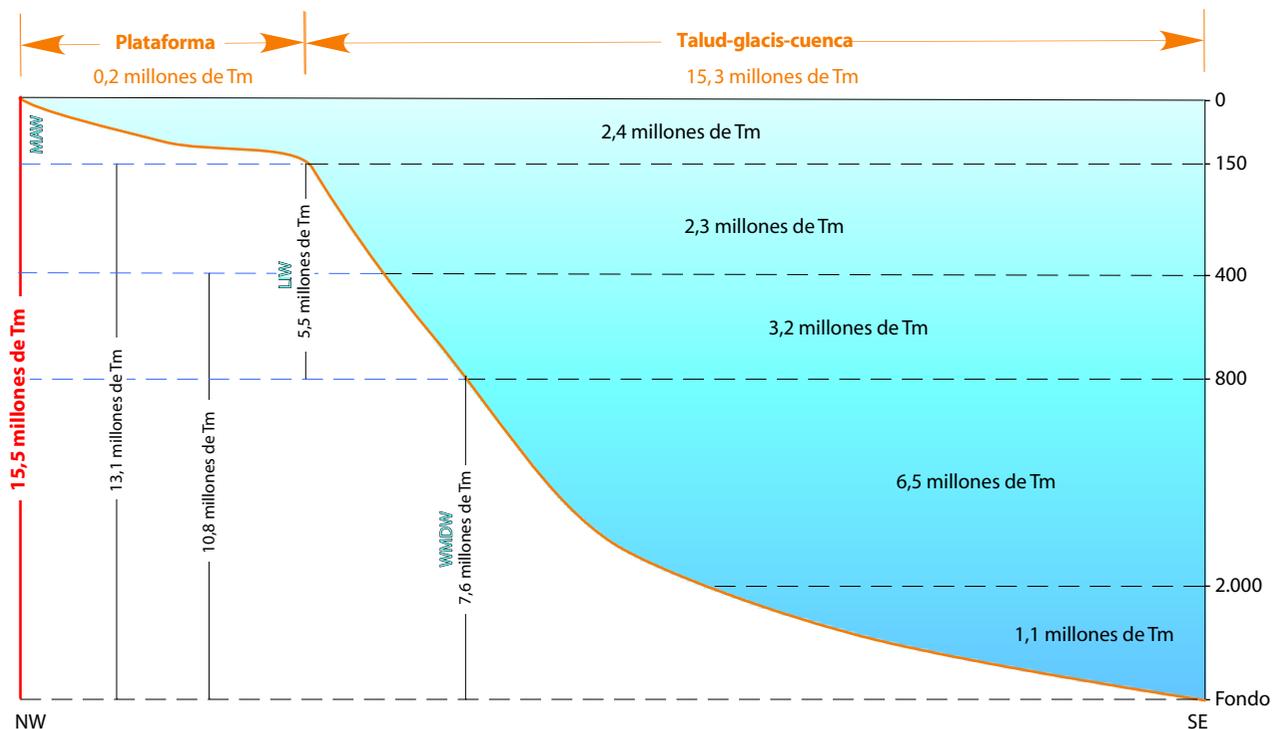


Figura 23. Sección ilustrativa del MCB con indicación de la masa de MPS (en Tm) y de la relación masa de MPS-profundidad (en Tm/m) en cada uno de los intervalos de profundidad o "contenedores" considerados en la Figura 22 durante la campaña FLUBAL '93 (ver texto). MAW: Agua Atlántica Modificada; LIW: Agua Levantina intermedia; WMDW: Agua Profunda del Mediterráneo Occidental.

## 6. CONCLUSIONES

El modelo 3-D de la distribución del MPS en condiciones estivales en el MCB ha revelado, en primer lugar, la existencia de un buen número de capas nefeloides que facilitan la exportación de la MPS desde la zona costera hasta el margen distal y la cuenca. Estas estructuras están controladas por el relieve submarino, la hidrología y la cercanía de las fuentes de MPS, y son más prominentes en el margen catalán que en el Golfo de León y el margen balear.

La CNS, extendida a toda la zona de estudio, tiene un espesor máximo de 100 m y está ligada a la termoclina estacional. El origen de sus partículas es principalmente biológico, su desarrollo vertical es mayor aguas afuera de Marsella y de las Baleares, y está marcadamente separada de las capas subyacentes por un nivel de aguas claras ( $< 100$  mFTU).

En algunos sectores de la plataforma continental catalana se desarrolla una CNF formada por una mezcla de partículas de origen fluvial y de partículas resuspendidas en la misma plataforma que transfiere la MPS hacia el talud. La CNF es especialmente notable en la plataforma del Ebro, donde presenta concentraciones superiores a los 1.000 mFTU. En el talud distal y en el glacis continental, la CNF está prácticamente ausente y sólo aparece esporádicamente en sectores restringidos.

Se observa la presencia de al menos una CNI en toda el área de estudio, especialmente en el segmento de margen comprendido entre los cañones de Lacaze-Duthiers y del Foix, que suele aparecer por debajo de la cota de la ruptura de pendiente del borde de plataforma, donde se desgaja de la CNF de plataforma. Esta CNI es más gruesa y extensa en el margen catalán meridional que en el Golfo de León. También se encuentran otras CNIs especialmente desarrolladas sobre los ejes de los cañones y formadas por material fundamentalmente litogénico. La concentración de estas CNIs decrece aguas afuera del talud, desde unos 500 mFTU hasta unos 200 mFTU.

En el conjunto de la columna de agua, los valores de concentración superan siempre los 200 mFTU en superficie, especialmente en las cabeceras de los cañones de los márgenes terrígenos de Cataluña y del Golfo de León.

En las aguas intermedias, a partir de los 200 m, las concentraciones disminuyen paulatinamente con la profundidad, con un descenso más generalizado a partir de los 800 m de profundidad. Por debajo de los 1.500 m, las concentraciones pueden considerarse muy homogéneas.

Los cálculos volumétricos realizados en el conjunto del volumen de agua investigado (86.000 km<sup>3</sup>) muestran que dos terceras partes son aguas muy claras ( $< 50$  mFTU) y que más del 85% del volumen de agua presenta concentraciones de MPS bajas o muy bajas ( $< 100$  mFTU). Las concentraciones medias de MPS en el área investigada son de 496 mFTU sobre la plataforma continental y de 102 mFTU sobre el conjunto talud-glacis-cuenca, casi cinco veces menos que sobre la plataforma.

La masa total calculada de MPS en el área de estudio es de algo más de 15,5 millones de Tm. La mayor parte de dicha masa corresponde a las aguas del conjunto talud-glacis-cuenca. En la vertical, los intervalos de profundidad de 0-150 m y de 150-400 m contienen prácticamente la misma cantidad de MPS, unos 2,4 millones de Tm, mientras que el intervalo de 800-2.000 m es el que alberga una mayor cantidad de MPS, unos 6,5 millones de Tm, aunque su relación Tm/m es considerablemente menor a la de los otros intervalos considerados.

Todo estos resultados validan la utilización del modelo generado para observar la distribución 3-D y cuantificar la MPS en el MCB. Un estudio más afinado de los tamaños de grano de la MPS permitirían calibrar mejor las lecturas nefelométricas en términos de carga sedimentaria, cosa que serviría para mejorar los cálculos. El estudio de la evolución temporal de la MPS mediante trampas de sedimento fondeadas y campañas hidrológicas repetidas, combinado con la modelización 3-D de los datos, podría llevar al establecimiento de balances sedimentarios realistas a nivel de cuenca y al cálculo preciso de los tiempos de residencia de las partículas. Por otra parte, la caracterización elemental sistemática de la MPS, y de la mineralogía de la fase litogénica, representaría otro avance sustancial ya que permitiría identificar con mayor rigor las fuentes de partículas y determinar las contribuciones relativas de cada una, así como su variabilidad estacional y su contribución relativa a la población total.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

- Aloisi, J.C., Cambon, J.P., Carbonne, J., Cauwet, G., Millot, C., Monaco, A. y Pauc, H., 1982. Origine et rôle du néphéloïde profond dans le transfert des particules au milieu marin. Application au Golfe du Lion. *Oceanologica Acta*, 5(4): 481-491.
- Baker, E.T. y Lavelle, J.W., 1984. The effect of particle size on the light attenuation coefficient of natural suspensions. *Journal of Geophysical Research*, 89(C5): 8197-8203.
- Béthoux, J.P., 1980. Mean water fluxes across sections in the Mediterranean Sea, evaluated on the basis of water and salt budgets and of observed salinities. *Oceanologica Acta*, 3: 79-88.
- Bishop, J.K.B., 1986. The correction and suspended particulate matter calibration of Sea Tech transmissometer data. *Deep Sea Research Part A*, 33(1): 121-134.
- British Oceanographic Data Centre, 2003. GEBCO Digital Atlas—Centenary Edition (GEBCO-CE). CD-ROM. British Oceanographic Data Centre, Liverpool, Reino Unido.
- Bunt, J.A.C., Larcombe, P. y Jago, C.F., 1999. Quantifying the response of optical backscatter devices and transmissometers to variations in suspended particulate matter. *Continental Shelf Research*, 19(9): 1199-1220.
- Calafat, A., 1993. Dynamique sédimentaire de la marge rhodanienne (Golfe du Lion). Matière en suspension et dépôts récents. Thèse de Doctorat, Université de Perpignan, 290 pp.
- Calafat, A., Casamor, J.L. y Canals, M., 1994. Measured turbidity and SPM concentrations from FLUBAL '93 cruise. En: M. Canals, J.L. Casamor, A. Calafat y J. Sorribas (Eds.), EURO-MARGE-NB Progress Report, First Annual Report, MAST II Programme, EC, II, Contr. 1, 2 pp.
- Calafat, A.M., Casamor, J.L., Canals, M. y Nyffeler, F., 1996. Distribución y composición elemental de la materia particulada en suspensión en el Mar Catalano-Balear. *Geogaceta*, 20(2): 370-373.
- Calmet, D. y Fernandez, J.M., 1990. Caesium distribution in northwest Mediterranean seawater, suspended particles and sediments. *Continental Shelf Research*, 10(9-11): 895-913.
- Canals, M., Riba, O. y Serra-Raventós, J., 1982. Toponímia de la Mar Catalano-balear (amb un glossari de termes genètics). *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 36: 169-194.
- Canals, M., Cacho, I., Calafat, A.M., Casamor, J.L., Rodríguez, M.A., Sorribas, J., Nyffeler, F., Godet, C.H., Puig, P., Kerherve, P., Charrière, B., Sánchez-Cabeza, J.A., Masque, P., Dinet, A. y Albert, P., 1993. Flujos biogeoquímicos y evolución climático-ambiental del Mar Balear. Informe de la Campaña FLUBAL '93, Universitat de Barcelona. 86 pp.
- Canals, M., Casamor, J.L., Cacho, I., Calafat, A. y Monaco, A. (Eds.), 1996. EUROMARGE-NB Final Report, MAST II Programme, EC, 3 vols. GRC Geociències Marines, Universitat de Barcelona.
- Canals, M., Casamor, J.L., Urgeles, R., Farran, M., Calafat, A., Amblàs, D., Willmott, V., Estrada, F., Sánchez, A., Arnau, P., Frigola, J. y Colàs, S., 2004. Mapa del relleu submarí de Catalunya. Escala 1:250.000. Institut Cartogràfic de Catalunya, Barcelona.
- Casamor, J.L., 1992. Transporte y sedimentación del material en suspensión en embalses: el embalse de Camarasa (río Noguera Pallaresa, Lleida). Tesis de Licenciatura, Universitat de Barcelona, 135 pp.
- Casamor, J.L., Calafat, A., Canals, M., Nyffeler, F. y Grout, H., 1998. 3-D visualization applied to the hydrosedimentary system of the NW Mediterranean Sea. Coastal and Marginal Seas, TOS and IOC meeting, *Oceanography*, 1(2): 43.
- Casamor, J. L., 2006. Modelización y visualización 3-D en Geociencias Marinas. Tesis Doctoral, Universitat de Barcelona, 222 pp.: il. col., gráf., tablas, mapas.
- Chronis, G., Lykousis, V., Georgopoulos, D., Zervakis, V., Stavrakakis, S. y Poulos, S., 2000. Suspended particulate matter and nepheloid layers over the southern margin of the Cretan Sea (NE Mediterranean): seasonal distribution and dynamics. *Progress In Oceanography*, 46(2-4): 163-185.
- Conner, C.S. y De Visser, A.M., 1992. A laboratory investigation of particle size effects on an optical backscatterance sensor. *Marine Geology*, 108(2): 151-159.
- Courp, T. y Monaco, A., 1990. Sediment dispersal and accumulation on the continental margin of the Gulf of Lions: sedimentary budget. *Continental Shelf Research*, 10(9-11): 1063-1087.
- Downing, J.P. y Beach, R.A., 1989. Laboratory apparatus for calibrating optical suspended solids sensors. (86): 243-249.

- Drake, D.E., 1976. Suspended sediment transport and mud deposition on continental shelves. En: D. Stanley y D. Swift (Eds.), *Marine Sediment Transport and Environmental Management*. John Wiley & Sons, New York, pp. 127-158.
- Durrieu de Madron, X., Nyffeler, F. y Godet, C.H., 1990. Hydrographic structure and nepheloid spatial distribution in the Gulf of Lions continental margin. *Continental Shelf Research*, 10(9-11): 915-929.
- Durrieu de Madron, X., 1991. Transport de la matière particulaire en suspension sur les marges continentales du Golfe du Lion (Méditerranée Occidentale), du Bassin des Sporades (Méditerranée Orientale) et du Golfe de Gascogne (Atlantique Nord-Est). Thèse de Doctorat, Université de Neuchâtel, 168 pp.
- Durrieu de Madron, X., 1994. Hydrography and nepheloid structures in the Grand-Rhone Canyon. *Continental Shelf Research*, 14(5): 457-477.
- Durrieu de Madron, X., Calafat, A., Casamor, J.L., Charrière, B., Kerherve, P. y Puig, P., 1994. Preliminary report on the calibration of nephelometer measurements versus in situ measurement of suspended matter concentration. En: M. Canals, J.L. Casamor, A. Calafat y J. Sorribas (Eds.), *EUROMARGE-NB Progress Report, Firts Annual Report, MAST II Programme, EC, II, Contr. 3, 4 pp.*
- Durrieu de Madron, X., 1995. Calibration des mesures du néphé-  
lomètre integrateur profond en terme de charge particulaire. *Rapport technique LSGM 95/1. 30 pp.*
- Durrieu de Madron, X., Nyffeler, F., Monaco, A. y Casamor, J.L., 1996. Circulation and dynamics of suspended particle matter. En: M. Canals, J.L. Casamor, A. Calafat y A. MONAO (Eds.), *EUROMARGE-NB Final Report, MAST II Programme, EC, II, Chapter 2: 13-39.*
- Durrieu de Madron, X. y Panouse, M., 1996. Transport de matière en suspension sur le plateau continental du Golfe du Lion - Situation estivale et hivernale. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série IIA(322): 1061-1070.*
- Durrieu de Madron, X., Abassi, A., Heussner, S., Monaco, A., Aloisi, J.C., Radakovitch, O., Giresse, P., Buscail, R. y Kerherve, P., 2000. Particulate matter and organic carbon budgets for the Gulf of Lions (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 23(6): 717-730.
- Dynamic Graphics Inc., 2002. *EarthVision User's Guide*. Version 7.0, Dynamic Graphics, Inc., Alameda, California. 6 Vols.
- Earth Resources Information Systems Data Center, 1996. Global 30 arc second elevation data set; United States Geological Survey, Estados Unidos. En <http://edcwww.cr.usgs.gov/land-daac/gtopo30/gtopo30.html>.
- Eisma, D., 1993. *Suspended matter in the aquatic environment*. Springer-Verlag, Berlin, 315 pp.
- Flexas, M.M., Durrieu De Madron, X., Garcia, M.A., Canals, M. y Arnau, P., 2002. Flow variability in the Gulf of Lions during the MATER HFF experiment (March-May 1997). *Journal of Marine Systems*, 33-34: 197-214.
- Font, J., Salat, J. y Tintoré, J., 1988. Permanent features of the circulation in the Catalan Sea. *Oceanologica Acta*, 9: 51-57.
- Gibbs, R.J. (Editor), 1974. *Suspended solids in water*. Plenum Press, Nueva York, 320 pp.
- Guillén, J. y Palanques, A., 1992. Sediment dynamics and hydrodynamics in the lower course of a river highly regulated by dams: the Ebro river. *Sedimentology*, 39: 567-579.
- Guillén, J., Palanques, A., Puig, P., Durrieu de Madron, X. y Nyffeler, F., 2000. Field calibration of optical sensors for measuring suspended sediment concentration in the western Mediterranean. *Scientia Marina*, 64(4): 427-435.
- Karageorgis, A.P., Kaberi, H.G., Tengberg, A., Zervakis, V., Hall, P.O.J. y Anagnostou, C.L., 2003. Comparison of particulate matter distribution, in relation to hydrography, in the mesotrophic Skagerrak and the oligotrophic northeastern Aegean Sea. *Continental Shelf Research*, 23(17-19): 1787-1809.
- Lacombe, H. y Tchernia, P., 1972. Caractères hydrologiques et circulation des eaux en Méditerranée. En: D.J. Stanley (Editor), *The Mediterranean Sea*. Dowden, Hutchison & Ross Inc., Stroudsburg, 25-36 pp.
- Lal, D., 1977. The oceanic microcosm of particles. *Science*, 198: 997-1009.

- Lapouyade, A. y Durrieu de Madron, X., 2001. Seasonal variability of the advective transport of particulate matter and organic carbon in the Gulf of Lion (NW Mediterranean). *Oceanologica Acta*, 24(3): 295-312.
- Liquete, C., Canals, M., Lastras, G., Amblàs, D., Urgeles, R., Mol, B.D., Batist, M.D. y Clarke, J.E.H., 2006. Long-term development and current status of the Barcelona continental shelf: A source-to-sink approach. Presentado en *Continental Shelf Research*.
- Loubrieu, B., Mascle, J., Mouscardès, P., Chamot-Rooke, N., Pichon, X.L., Rangin, C., Foucher, J.P., Lericolais, G., Benkheilil, J., Woodside, J., Alexandri, M., Zitellini, N., Canals, M., Acosta, J., Comas, M., Gràcia, E., Alonso, B., Berné, S., Droz, L., Deverchère, J. y Yelles, K., 2005. Morpho-bathymetry of the Mediterranean Sea. Escala 1/2.000.000. CIESM / Ifremer special publication (2 mapas).
- Martin, J.M., Elbaz-Poulichet, F., Guieu, C., Loye-Pilot, M.D. y Han, G., 1989. River versus atmospheric input of material to the Mediterranean Sea: an overview. *Marine Chemistry*, 28(1-3): 159-182.
- Martin, J.M. y Milliman, J.D., 1997. EROS 2000 (European River Ocean System). The western Mediterranean: an introduction. *Deep Sea Research Part II*, 44(3-4): 521-529.
- McCave, I.N., 1986. Local and global aspects of the bottom nepheloid layers in the world ocean. *Netherlands Journal of Sea Research*, 20(2-3): 167-181.
- McCave, I.N. y Hall, I.R., 2002. Turbidity of waters over the Northwest Iberian continental margin. *Progress In Oceanography*, 52(2-4): 299-313.
- McPhee-Shaw, E.E., Sternberg, R.W., Mullenbach, B. y Ogston, A.S., 2004. Observations of intermediate nepheloid layers on the northern California continental margin. *Continental Shelf Research*, 24(6): 693-720.
- Milliman, J.D. y Meade, R.H., 1983. World-wide delivery of river sediments to the ocean. *Journal of Geology*, 91: 1-21.
- Millot, C., 1987. Circulation in the western Mediterranean Sea. *Oceanologica Acta*, 10: 143-149.
- Millot, C., 1990. The Gulf of Lions' hydrodynamics. *Continental Shelf Research*, 10(9-11): 885-894.
- Millot, C., 1999. Circulation in the western Mediterranean Sea. *Journal of Marine Systems*, 20: 423-442.
- Monaco, A., Biscaye, P., Soyer, J., Pocklington, R. y Heussner, S., 1990a. Particle fluxes and ecosystem response on a continental margin: the 1985-1988 Mediterranean ECOMARGE experiment. *Continental Shelf Research*, 10(9-11): 809-839.
- Monaco, A., Courp, T., Heussner, S., Carbonne, J., Fowler, S.W. y Deniaux, B., 1990b. Seasonality and composition of particulate fluxes during ECOMARGE--I, western Gulf of Lions. *Continental Shelf Research*, 10(9-11): 959-987.
- Monaco, A. y Peruzzi, S., 2002. The Mediterranean Targeted Project MATER--a multiscale approach of the variability of a marine system--overview. *Journal of Marine Systems*, 33-34: 3-21.
- Morel, A., 1973. Diffusion de la lumière par les eaux de mer. Résultats expérimentaux et approche théorique. *Optics in the sea*, Lecture Serie 61, AGARD NATO, Bruselas, 3.1.1-3.1.76 pp.
- Nyffeler, F. y Godet, C.H., 1986. The structural parameters of the benthic nepheloid layer in the northeast Atlantic. *Deep Sea Research Part A*, 33(2): 195-207.
- Nyffeler, F., Godet, C.H., Casamor, J.L. y Durrieu de Madron, X., 1996. Water masses properties and flux of suspended matter in two representative sites of the EUROMARGE program, Second Workshop of the Mediterranean Targeted Project. European Commission MAST Programme. Institute of Marine Biology of Crete, pp. 114-117.
- Nyffeler, F., Godet, C.H., Kontar, E., Kos'yan, R., Krivosheya, V.G. y Volkov, I.I., 2001. Optical properties of the water column along the continental margin of the North Eastern Black Sea. *Journal of Marine Systems*, 31(1-3): 35-44.
- Oliveira, A., Vitorino, J., Rodrigues, A., Jouanneau, J.M., Dias, J.A. y Weber, O., 2002. Nepheloid layer dynamics in the northern Portuguese shelf. *Progress In Oceanography*, 52(2-4): 195-213.
- Palanques, A., Puig, P., Guillén, J., Jimenez, J., Gracia, V., Sanchez-Arcilla, A. y Madsen, O., 2002. Near-bottom suspended sediment fluxes on the microtidal low-energy Ebro continental shelf (NW Mediterranean). *Continental Shelf Research*, 22(2): 285-303.
- Palanques, A., García-Ladona, E., Gomis, D., Martin, J., Marcos, M., Pascual, A., Puig, P., Gili, J.M., Emelianov, M. y Monserrat, S., 2005. General patterns of circulation, sediment fluxes and ecology

- of the Palamos (La Fonera) submarine canyon, northwestern Mediterranean. *Progress In Oceanography*, 66(2-4): 89-119.
- Pinot, J.M., Lopez-Jurado, J.L. y Riera, M., 2002. The CANALES experiment (1996-1998). Interannual, seasonal, and meso-scale variability of the circulation in the Balearic Channels. *Progress in Oceanography*, 55(3): 335-370.
- Pont, D., 1997. Les débits solides du Rhône à proximité de son embouchure: données récentes (1994-1995). *Revue de Géographie de Lyon*, 72(1): 23-33.
- Puig, P. y Palanques, A., 1998. Nepheloid structure and hydrographic control on the Barcelona continental margin, northwestern Mediterranean. *Marine Geology*, 149(1-4): 39-54.
- Puig, P., Company, J.B., Sardà, F. y Palanques, A., 2001a. Responses of deep-water shrimp populations to intermediate nepheloid layer detachments on the Northwestern Mediterranean continental margin. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 48(10): 2195-2207.
- Puig, P., Palanques, A. y Guillén, J., 2001b. Near-bottom suspended sediment variability caused by storms and near-inertial internal waves on the Ebro mid continental shelf (NW Mediterranean). *Marine Geology*, 178(1-4): 81-93.
- Salomons, W. y Mook, W.G., 1987. Natural tracers for sediment transport studies. *Continental Shelf Research*, 7(11-12): 1333-1343.
- Vangriesheim, A., Gouillou, J.P. y Prieur, L., 1992. A deep-ocean nephelometer to detect bottom and intermediate nepheloid layers. *Deep Sea Research Part A. Oceanographic Research Papers*, 39(7-8): 1403-1416.
- Vericat, D. y Batalla, R.J., 2006. Sediment transport in a large impounded river: The lower Ebro, NE Iberian Peninsula. *Geomorphology*, 79(1-2): 72-92.
- Wegner, C., Holemann, J.A., Dmitrenko, I., Kirillov, S., Tuschling, K., Abramova, E. y Kassens, H., 2003. Suspended particulate matter on the Laptev Sea shelf (Siberian Arctic) during ice-free conditions. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1-2): 55-64.
- Yurkovskis, A., 2005. Seasonal benthic nepheloid layer in the Gulf of Riga, Baltic Sea: Sources, structure and geochemical interactions. *Continental Shelf Research*, 25(18): 2182-2195.
- Zervakis, V., Karageorgis, A.P., Kontoyiannis, H., Papadopoulos, V. y Lykousis, V., 2005. Hydrology, circulation and distribution of particulate matter in Thermaikos Gulf (NW Aegean Sea), during September 2001–October 2001 and February 2002. *Continental Shelf Research*, 25(19-20): 2332-2349.

