



Universitat Autònoma de Barcelona

Facultat de Ciències

**Desequilibri $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ per a l'estudi del
cicle de partícules al Mediterrani Nord-
Occidental**



**Projecte Fi de Carrera de Ciències
Ambientals**

Mercè Bermejo Cisneros

Setembre 2010

Director: Pere Masqué Barri

*A totes les persones que m'han precedit
i han fet el meu camí una mica més clar i més fàcil.*

AGRAÏMENTS

Dedico aquestes línies a tota aquella gent que m'ha estat recolzant fins aquest moment tan especial. Llàstima no disposar del temps suficient per dedicar-vos quelcom una mica més digne...Han estat moltes les persones que han fet possible que la meva persona arribés a aquest moment.

Ja fa més d'un any que se'm va brindar la possibilitat d'iniciar-me en la recerca. I tot aquest temps ha estat ple de moments inoblidables. No deixa de sorprendre'm la sensació que es té al trobar un raonament per la realitat mitjançant la interpretació d'unes dades. Aquesta sensació m'ha acompanyat durant alguns moments de la realització d'aquest treball. Però també hi ha hagut moments de crisi que us heu menjat els que estàveu a prop.

Pere, gràcies per deixar-me obrir aquesta porta i encendre'm el llum tantes i tantes vegades, amb paciència i fossis on fossis.

Jordi, Joan Manel, Ester, Patricia, Eli, Carolina, Cèsar, Oriol ha esta un plaer poder compartir amb vosaltres tots aquests embolics familiars que s'empatollen els radionúclids. I Esther, que sàpigues que se't troba a faltar des de el primer moment de la teva aventura francesa.

Núria, Viena, m'heu aguantat com unes campiones fins als últims moments. Nenis, gràcies pels moments "va que tu pots".

Oriol i "famosillos": qui m'ho anava a dir que entendria tantes coses d'aquella campanya i, cada vegada, m'adonaria de que hi ha moltes més per saber.

Gràcies al grup de les cinc "bes", que m'ha fet fluir en els moments més durs: Bach, Beethoven, Bizet, Bjork i Billie Holiday.

La secció picassiana, que m'ha aguantat també amb tanta paciència aquests últims caps de setmana d'estrés. I Zulema! Visca les teves teràpies telefòniques.

La penya del "Xabolismo hi-tech", gràcies pels moments de recolzament de tot tipus.

Karina, les filosofades al menjador i la teva ajuda fins a l'últim moment, ¡Woh oh ohohoh! I Carol, no tinc paraules. Sin vosotras todo hubiera sido mucho más aburrido.

Mare i avis, evidentment que sense vosaltres això no hauria estat així.

Luis, gràcies per la visió perifèrica que has tingut en tots els moments que la requerien.

ÍNDIX

AGRAÏMENTS

1 INTRODUCCIÓ	1
1.1 El Projecte FAMOSO i el cicle del carboni als oceans	1
1.2 Radioactivitat natural	2
1.2.1 L'urani i el tori	4
1.2.2 Ús del parell $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ per a l'estudi del cicle de partícules dels oceans	5
1.3 Àrea d'estudi: el Mediterrani nord-occidental	6
1.3.1 Característiques generals del Mediterrani	6
1.3.2 Les masses d'aigua al Mediterrani	7
1.3.3 Circulació oceànica al Mar Catalanobalear	8
1.3.4 L'estacionalitat al mar Mediterrani	9
2 MATERIAL I MÈTODES	11
2.1 Metodologia de mostreig i procediments d'anàlisi	11
2.1.1 Aigua	11
2.1.2 Trampes de sediment	13
2.2 Determinació de l'activitat: comptador beta	15
3 RESULTATS	16
3.1 Perfils de ^{234}Th a la columna d'aigua	16
3.2 Fluxos de ^{234}Th	19
3.2.1 Trampes de sediment	19
3.2.2 Fluxos integrats de ^{234}Th a la columna d'aigua i a les trampes de sediment	20
3.3 Termoclina estacionària	22
4 DISCUSSIÓ	23
4.1 Dèficits de ^{234}Th a la columna d'aigua	23
4.2 Fluxos de ^{234}Th de la columna d'aigua i a les trampes de sediment	23
5 CONCLUSIONS I PERSPECTIVES DE FUTUR	25
6 BIBLIOGRAFIA	27
7 APÈNDIX	31

1 INTRODUCCIÓ

1.1 El Projecte FAMOSO i el cicle del carboni als oceans

Aquest projecte s'ha realitzat en el marc de l'assignatura de Projectes de la Llicenciatura de Ciències Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona. Les dades treballades en aquest treball van ser mostrejades al Projecte FAMOSO (Fate of the northwestern Mediterranean open sea spring bloom) que és un projecte finançat pel Ministeri de Ciència i Tecnologia. L'investigador principal és el Doctor Mikel Latasa.

FAMOSO té com objectiu principal conèixer el destí de la floració de finals de l'hivern i principis de la primavera a la regió de mar obert al Mediterrani Occidental. Es vol avaluar fins a quin punt la floració primaveral:

- Actua com a embornal de carboni.
- Representa una injecció de matèria orgànica cap a nivells tròfics superiors amb una repercussió potencial en les pesqueries.
- Actua com una estructura dissipativa, remineralitzant la matèria orgànica sintetitzada en la floració (bloom).

La zona d'estudi presenta certes peculiaritats respecte a la resta del mar Mediterrani. Aquest mar tradicionalment s'ha considerat oligotròfic. Però les imatges de satèl·lit mostren que la conca nord-occidental és una regió clau en la biogeoquímica del Mediterrani. A més, aquesta regió registra nivells moderats de producció primària i un rendiment pesquer relativament alt i és llar d'una considerable quantitat de cetacis. Per tant, tot indica que la conca nord-occidental sosté una biomassa elevada d'organismes de nivells tròfics alts comparada amb el conjunt del Mediterrani.

El mecanisme més evident de fertilització que actua en la conca d'estudi és la barreja convectiva profunda i la floració de fitoplàncton que segueix després que comenci la re-estratificació. La producció primària d'aquesta àrea, segons imatges de satèl·lit, pot representar més d'un 15% del conjunt del Mediterrani.

D'altra banda, encara es debat si els sistemes aquàtics que originen les floracions actuen com a font o embornal del carboni atmosfèric. La conca nord-occidental del Mediterrani pot ajudar a predir el fenomen del canvi global (Somot *et al.*, 2006). I és que qualsevol canvi pot ser global si es té en compte que en la natura, tot està relacionat (Commoner, 1990): el diòxid de carboni atmosfèric continua augmentant (Keeling *et al.*, 2008) i amplificant l'efecte hivernacle.

Els oceans juguen un paper crucial en el sistema climàtic mitjançant la circulació termohalina, la qual transfereix aigua calenta des dels tròpics cap a les regions polars i, aquesta sembla ser sensible a la taxa de canvi de les

concentracions de CO₂ (Stocker i Schimittner, 1997). A més, els oceans absorbeixen una tercera part de les emissions derivades de l'ús de combustibles fòssils i de la desforestació tropical (Siegenthaler i Sarmiento, 1993), convertint-se en potencials embornals de l'excés de CO₂ (Stewart *et al.*, 2007a).

Un dels mecanismes naturals d'absorció de CO₂ per part dels oceans, importants d'entendre, és la bomba biològica. El fitoplàncton transforma el CO₂ i l'H₂O en oxigen i carbohidrats mitjançant la fotosíntesi; aquests productes són utilitzats per les formes de vida oceànica per tal d'obtenir energia. La major part del CO₂ absorbit pel fitoplàncton és reciclat a prop de la superfície, però una part significant de la biomassa abandona la zona eufòtica i cau cap a aigües profundes per gravetat, difusió i transport bioactiu del carboni orgànic i del inorgànic. Aquest material, freqüentment anomenat "neu marina", cau a través de la columna d'aigua i és transformat de nou a CO₂ per les bacteries marines; menys de l'1% d'aquesta neu marina arriba, de fet, al fons marí (Feely *et al.*, 2001).

Tornant al Projecte FAMOSO, es van dur a terme, entre d'altres, els següents estudis: flux de matèria orgànica particulada (mitjançant trampes de sediment), desequilibri ²³⁴Th/²³⁸U a la columna d'aigua, balanç de carboni, nutrients i oxigen i estimació tròfica d'organismes amb vides relativament llargues (zooplàncton).

FAMOSO inclou tres campanyes oceanogràfiques a bord del vaixell oceanogràfic del Centre Superior d'Investigacions Científiques (CSIC) Sarmiento de Gamboa durant l'any 2009. Les dades utilitzades en el present treball corresponen a la primera i la segona campanyes. La primera va tenir lloc entre el 6 i el 23 de març i correspon a l'etapa de floració del fitoplàncton. La segona es va dur a terme entre el 29 d'abril i el 14 de maig, tot just després de la floració. Respecte a la tercera campanya, que no serà discutida en aquest treball, es va realitzar entre el 14 i el 22 de setembre, quan les condicions eren oligotròfiques.

En les imatges de satèl·lit es veu que el bloom dura aproximadament un mes i després desapareix. El projecte FAMOSO vol descobrir què succeeix amb tota aquesta biomassa formada. Les tres vies de desaparició del fitoplàncton que s'han considerat més importants són: que se'n vagi al fons, que sigui menjat pel zooplàncton i segueixi per la cadena tròfica fins a organismes superiors o que es remineralitzi, és a dir, que el carboni orgànic es "respiri" en la xarxa tròfica i es converteixi en CO₂

El present estudi es centra en l'ús del radionúclid ²³⁴Th com a traçador de l'exportació de partícules de les capes superficials del mar.

1.2 Radioactivitat natural

La radioactivitat natural fa referència a aquella que no s'ha generat per cap activitat humana. Prové de la desintegració dels radionúclids originats en

l'escorça terrestre i els productes d'espallació. Aquests últims són fruit de la interacció de raigs còsmics amb núclids estables presents a l'atmosfera (Eisenbud i Gesell, 1997).

Dels radionúclids que hi ha a la Terra es pot distingir entre els primordials i els secundaris, aquests últims generats a partir de la desintegració dels primers. Els radionúclids primordials tenen un període de semidesintegració ($T_{1/2}$) comparable a l'edat de la Terra i es classifiquen en aquells que donen lloc a una cadena de desintegració i els que es presenten individualment (^{40}K). Cal destacar que la majoria de radionúclids d'origen terrestre pertanyen a una de les 4 cadenes (sèries) naturals de desintegració (Fig. 1). Aquestes s'anomenen atenent al núclid amb el període de semidesintegració més llarg de la cadena, que al mateix temps és el precursor de la sèrie i el que té el número màssic més elevat (^{238}U , ^{237}Np , ^{235}U i ^{232}Th). La sèrie del ^{237}Np ha desaparegut de l'escorça terrestre degut al seu reduït període de semidesintegració ($T_{1/2} = 2 \cdot 10^6$ anys) en comparació a l'edat de la Terra (Ivanovich, 1992).

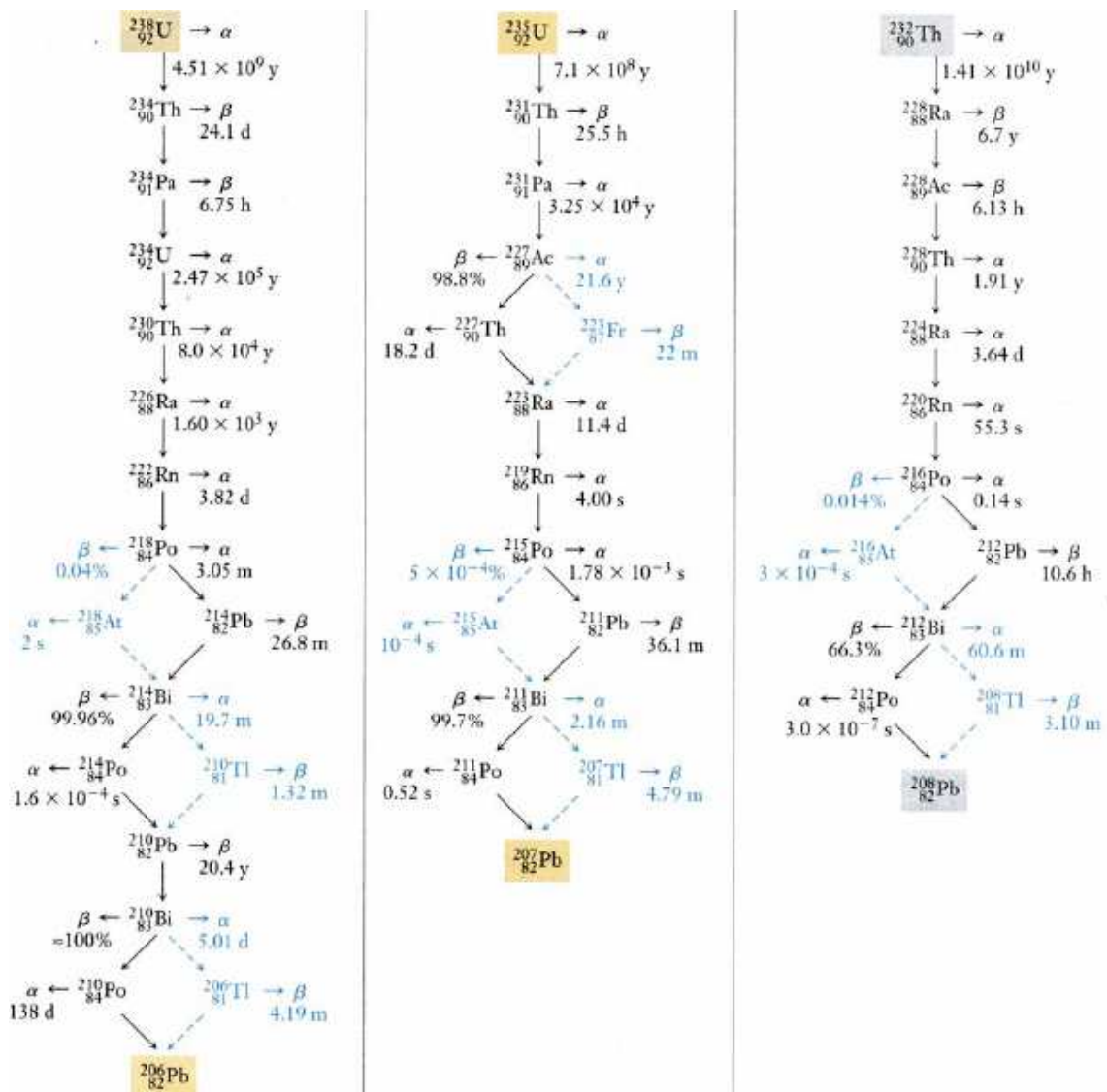


Fig. 1 Cadenes naturals de desintegració radioactiva: sèrie de ^{238}U , ^{235}U i ^{232}Th . Es pot observar, entre d'altres característiques, el període de semidesintegració per a cada radionúclid i el tipus d'emissió.

En les cadenes naturals de desintegració, el radionúclid producte de la desintegració és també radioactiu; el fill produirà de nou un altre radionúclid i així successivament fins arribar a un isòtop de plom que ja no serà radioactiu.

Els diferents processos físics, químics, geològics o fins i tot biològics que tenen lloc als sistemes naturals poden causar un fraccionament entre els diferents elements de les cadenes, provocant que els radionúclids es trobin dividits en ambients geològics distints i originant els anomenats desequilibris radioactius. Tots els elements de les cadenes presenten unes característiques geoquímiques diferents i cada radionúclid presenta diferències en el període de semidesintegració, que van des de microsegons fins als 10^{10} anys (Ivanovich, 1992).

La utilitat de les cadenes de desintegració per a l'estudi de processos ambientals roman precisament en l'observació dels processos que han produït aquests desequilibris.

1.2.1 L'urani i el tori

L'urani va ser presentat a la comunitat científica mundial el 24 de setembre de 1789 pel químic Martin Heinrich Klaproth (1743-1817). Li va donar aquest nom degut al també recent descobriment del planeta Urà.

Existeixen varis isòtops naturals de l'urani i el més abundant a l'escorça terrestre és l' ^{238}U , a la sèrie del qual pertany el ^{234}Th .

Aquests isòtops es presenten predominantment en dos estats d'oxidació en condicions ambientals, U(VI) i U(IV) (Gascoyne, 1992). En condicions oxidants, com per exemple en aigües oxigenades com les superfícies de mar i rius, l'urani es troba en la seva forma hexavalent, U(VI), molt més soluble que la forma reduïda, i que s'hidrolitza en ambients aquosos per formar l'ió uranil (UO_2^{2+}). L'urani és conservatiu en aigua de mar a concentracions aproximades de $3.1 \mu\text{g L}^{-1}$, ja que roman dissolt en espècies de forma $\text{UO}_2(\text{CO}_3)_3^{4-}$ (Chen *et al.*, 1986; Pates i Muir, 2007).

Respecte al tori, va ser el cèlebre químic suec Jöns Jakob Berzelius qui el va descobrir en 1828-29 i el va batejar amb un nom que feia honor a Thor, el déu escandinau de la guerra (Sánchez Ron, 2009). D'altra banda, el descobriment de la radioactivitat del tori s'atribueix a Gerhard Schmidt el 1897-98. Cal destacar que, poc després i de manera independent, Marie Curie va arribar al mateix descobriment, mentre estudiava diversos compostos d'urani.

Existeixen sis isòtops de tori a la natura, dos en cada cadena natural de desintegració: ^{232}Th ($T_{1/2} = 1.4 \cdot 10^{10}$ anys), ^{228}Th ($T_{1/2} = 1.9$ anys), ^{234}Th ($T_{1/2} = 24.1$ dies), ^{230}Th ($T_{1/2} = 7.5 \cdot 10^4$ anys), ^{231}Th ($T_{1/2} = 1.1$ dies) i ^{227}Th ($T_{1/2} = 18.7$ dies).

En aigües naturals, el tori només es presenta en la seva forma tetravalent, Th(IV). Presenta una baixa solubilitat i, de fet, és considerat un dels radionúclids amb major reactivitat per les partícules, tant en aigües salades com en dolces ($K_d \sim 10^6$ - 10^7 en aigües oceàniques; IAEA, 2004). Pot existir tori en forma dissolta però és ràpidament adsorbit per les partícules (Santschi *et al.*, 2006).

1.2.2 Ús del parell $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ per a l'estudi del cicle de partícules dels oceans

El ^{234}Th va ser mesurat a l'aigua de mar per primera vegada per Bhat *et al.*, (1969), qui va observar dèficits de ^{234}Th respecte l' ^{238}U als 100 m més superficials de la columna d'aigua a l'Oceà Índic.

La parella $^{238}\text{U}/^{234}\text{Th}$ és molt utilitzada per tal d'estimar els fluxos de partícules i determinar la força de la bomba biològica a la part més superficial dels oceans (Cochran i Masqué, 2003). Això és possible gràcies a les diferències en els seus períodes de semidesintegració i en les seves característiques biogeoquímiques.

El període de semidesintegració del ^{234}Th (24.1 d) és molt adequat per traçar processos d'escala de temps del rang de dies a setmanes, és a dir, períodes similars al desenvolupament de la floració del fitoplàncton. El ^{234}Th és produït contínuament mitjançant la desintegració alfa del seu pare ^{238}U , el qual té un període de semidesintegració de $4.5 \cdot 10^9$ anys. A la vegada, el tori dona lloc al ^{234}Pa ($T_{1/2}=1.18\text{m}$) per desintegració beta i després, mitjançant el mateix tipus d'emissió, a l' ^{234}U ($T_{1/2}=2.45 \cdot 10^5$ anys).

Si no es donés exportació de tori per les partícules, s'esperaria tenir equilibri secular entre l' ^{238}U i el ^{234}Th , amb una concentració aproximada de $2.4\text{-}2.6 \text{ dpm L}^{-1}$ (Verdeny *et al.*, 2007). Però evidentment, els oceans no estan lliures de partícules i el tori és adsorbit per la superfície de les partícules i exportat des de les capes més superficials dels oceans, creant-se així un dèficit de tori.

Idealment, un perfil d'aigua de mar hauria de mostrar una baixa activitat de ^{234}Th a la superfície, on el flux de partícules és més fort i, un increment d'aquesta activitat a mesura que augmenta la profunditat i disminueix la concentració de partícules. Entre els 50 i 200 m de la columna d'aigua, normalment té lloc l'equilibri secular entre pare i fill. Això vol dir que, com la concentració de partícules ha disminuït tant, el tori ja no és exportat per aquestes i llavors, com el període de semidesintegració del pare és molt més gran que el del fill, aquest últim es forma segons la constant de desintegració del pare.

D'aquesta manera, el dèficit de ^{234}Th relatiu al seu pare ^{238}U es pot utilitzar per calcular el flux de ^{234}Th que es desplaça mitjançant l'adsorció de les partícules a les capes superficials de la columna d'aigua.

El desequilibri $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ es fa servir per estimar els fluxos de POC (carboni orgànic particulat), multiplicant el dèficit de ^{234}Th per la ràtio POC/ ^{234}Th en partícules (Cochran i Masqué, 2003; Stewart *et al.*, 200b). En el present treball no es tracta aquesta aplicació, sinó que s'estudien els dèficits de ^{234}Th obtinguts a la columna d'aigua i a les trapes de sediment, per tal d'observar les diferències entre ambdues campanyes de FAMOSO, relacionades amb la distinta activitat biològica que s'espera trobar a la conca nord-occidental del Mediterrani.

1.3 Àrea d'estudi: el Mediterrani nord-occidental

El Mar Mediterrani és considerat com un oceà a petita escala (Margalef, 1985; Lejeune *et al.*, 2009), ja que es regeix per escales temporals i espacials reduïdes.

1.3.1 Característiques generals del Mediterrani

Segons la teoria de la deriva dels continents, la Mediterrània correspon a les restes d'un antic oceà que està en procés de tancament per la col·lisió de plaques continentals. Es va començar a formar fa uns 180 milions d'anys a partir d'un mar més extens anomenat Tetis (Brown *et al.*, 1991).

A) Situació geogràfica

La Mediterrània s'estén en sentit longitudinal, és a dir, mentre que ocupa un rang de longituds d'una 48°, el rang de latitud és d'uns 17°, relativament petit per la seva extensió. La seva superfície és de $2.54 \cdot 10^6 \text{ km}^2$ i es troba a una zona temperada. Les diferències de temperatura de l'aigua en superfície, al llarg de l'any són prou grans, més que les que puguin donar-se entre dos punts simultàniament.

B) Fisiografia

La multitud d'accidents geogràfics (penínsules, golfs, caps, badies, illes, etc) que retallen la costa mediterrània configuren una conca complexa, fragmentada en diversos mars de més petita escala, comunicats per estrets i canals de diversa amplada. El Mediterrani consta de dues conques principals, l'Occidental i l'Oriental, separades per la península Italiana i l'illa de Sicília. La conca Occidental és la que té contacte directe amb l'Oceà Atlàntic i es distingeixen diverses regions: el Mar d'Alborà, el Mar Lìgur, el Mar Tirrè, el Golf de Lleó i el Mar Catalanobalear. És en aquest últim mar on ha tingut lloc aquest estudi.

La conca Oriental és la part de la Mediterrània on es troben les màximes fondàries. Està formada per les conques Adriàtica, Jònica, el Mar de Líbia, la conca Llevantina i la zona del mar Egeu. Pel nord-est comunica amb el Mar Negre per l'estret del Dardanels.

Els mapes batimètrics mostren també un relleu de fons força complex. La fondària màxima ultrapassa els 4500 m al mar Jònic, i la fondària mitjana és d'uns 2500 a 3000m.

C) Conca hidrogràfica

Exceptuant la corresponent a la costa sud de la part Oriental i la del Mar Negre, la conca hidrogràfica mediterrània és petita en relació amb la superfície del mar. Trobem varis rius com el Ròdan, l'Ebre, el Po i el Nil. La vessant d'aquest últim, amb més de 2.5 milions de km^2 , té una superfície comparable a

tota la Mediterrània (Salat, 2009). Tot i això, des del punt de vista d'aportacions d'aigua la importància d'aquesta conca és molt petita ja que es tracta d'una regió desèrtica on no solament no plou sinó que, a més, gairebé tota l'aigua que transporta el Nil des de zones tropicals, o bé es perd per evaporació directa en travessar el desert, o bé s'utilitza per regar i es perd per evapotranspiració.

D) Intercanvis d'aigua

L'aigua de la Mediterrània arriba per l'estret de Gibraltar o bé prové de la pluja o neu i, marxa pel mateix Estret o per evaporació. El temps de residència de l'aigua al Mediterrani és aproximadament de 70 anys.

L'única connexió amb l'Oceà Atlàntic és a través de l'estret de Gibraltar, el qual té una amplada mínima de tan sols 15 km i un fons màxim d'uns 350 m. Per l'estret de Gibraltar entra més aigua al Mar Mediterrani que la que en surt.

Tot i això, el Mediterrani rep menys aigua dels rius i de les precipitacions de la que perd per evaporació i, esdevé per tant, una conca de concentració. L'evaporació excedeix l'input d'aigua dolça al Mediterrani en $7 \times 10^4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ (Brown *et al.*, 1991). Això significa una salinitat elevada i un enfonsament de l'aigua superficial per la seva major densitat. És per això que a través de Gibraltar entra aigua de l'Atlàntic (amb una salinitat més baixa) per la superfície i, surt aigua pròpia de la Mediterrània per la part més profunda.

La salinitat de l'aigua del Mediterrani és aproximadament de 38.5, si bé és una mica més baixa a la superfície, i la temperatura és relativament constant al fons ($\sim 13^\circ\text{C}$) i varia entre els 13°C i els 26°C a la superfície segons l'època de l'any (hivern o estiu) (Salat i Font, 1985).

1.3.2 Les masses d'aigua al Mediterrani

Segons la salinitat i la temperatura es poden identificar les principals masses d'aigua que conformen el Mediterrani (Salat i Font, 1985; Salat, 2009).

L'aigua provinent de l'Atlàntic que es va barrejant amb l'aigua mediterrània s'anomena Aigua Atlàntica Modificada (AW). Es tracta d'una aigua de salinitat que ronda els 36.2 i amb una temperatura variable, entre 15 i 20°C , segons l'època de l'any. En el procés de barreja la salinitat pot arribar 37-37.5. Ocupa una capa de fondària variable però mai no superior als 150m. Tal i com mostra la figura 1, aquesta aigua es passeja pel mar d'Alboran i segueix la costa d'Algèria fins arribar al canal de Sicília. Aquest corrent es bifurca en dues parts: una segueix pel sud de les Balears i una petita part d'ella va cap al nord entrant al Mar Catalanoblear per llevant i, l'altra entra al Mar Tirrè. Els valors de salinitat aniran creixent a mesura que aquesta massa d'aigua s'allunyi del seu origen. A la Mediterrània Oriental també es pot detectar, però ja molt barrejada i fins a una fondària d'uns 50m.

A l'hivern i a la costa sud de l'Àsia menor es forma l'Aigua Intermèdia Oriental o Llevantina. Es troba entre els 200 i 700 m de la columna d'aigua, i té una salinitat més elevada (38.45-39) que l'aigua superficial. S'escampa per la conca oriental i passa a l'occidental pel Canal de Sicília, sortint a l'oceà per l'estret de Gibraltar. També una branca envaeix tota la regió nord-occidental de la conca i perd progressivament importància. Es combina pràcticament amb totes les aigües i a la conca occidental ho fa amb l'aigua intermèdia d'hivern i amb la fonda.

També s'han descrit altres tipus d'aigua secundàries (Salat i Font, 1985), com l'Aigua Intermèdia Occidental d'Hivern que es forma prop del talús continental de la costa nord del Mediterrani Occidental durant l'hivern. Cal destacar també que al llarg de les costes continentals el mar rep certes aportacions d'aigua dolça.

A la zona d'estudi d'aquest treball, és a dir, al Mar Catalanobaleà, és on l'aigua superficial té els valors de salinitat més alts de tota la conca occidental, amb un fort contrast de temperatura i salinitat amb les aigües superficials prop de la costa. Això provoca un marcat front de densitat al llarg del límit de la plataforma continental.

D'altra banda, a l'hivern dins aquesta regió central, aigües enfora de la costa catalana i del golf de Lleó, és on es presenten amb la màxima freqüència els vents de component nord: Tramuntana i Mestral, freds i secs. Tot plegat contribueix a que sigui en aquest indret on es produeixi el que s'anomena Aigua Fonda del Mediterrani Occidental. Es tracta d'un procés de convecció profunda que abasta fins al fons del mar, oxigenant i renovant l'aigua del fons de la Mediterrània Occidental. La seva temperatura oscil·la entre 12.75 i 12.90°C i la salinitat entre 38.40 i 38.48

En resum, llevat de la capa superficial que és molt variable doncs està ocupada per l'aigua d'origen Atlàntic més o menys marcat, amb influències continentals al llarg d'algunes costes, la resta de la columna d'aigua té una estructura persistent. A diferència de l'oceà, l'aigua de la Mediterrània per sota dels 150-200 m és pràcticament homogènia. En la regió de l'Aigua Fonda, el pas de les estacions no es fa notar però les característiques de les seves aigües són fruit de com són els hiverns a diferents llocs de la conca Mediterrània.

1.3.3 Circulació oceànica al Mar Catalanobaleà

La circulació principal al Mar Catalanobaleà ve donada pel Corrent del Nord que entra pel Golf de Lleó, en voreja la part occidental i el marge català i torna cap al nord-est pel pendent nord de les Balears. Es tracta del principal agent de transport de material particulat en suspensió a la columna d'aigua. El corrent manifesta una variabilitat estacional, amb un flux màxim a l'hivern i a la primavera (André *et al.*, 2005).

El Corrent Català segueix la direcció NE-SW del gir ciclònic general del Mediterrani Nord-Occidental i té les característiques d'un corrent diferenciable de la resta de la circulació. És considerat el tret més característic de la circulació del Mar Catalanobalear.

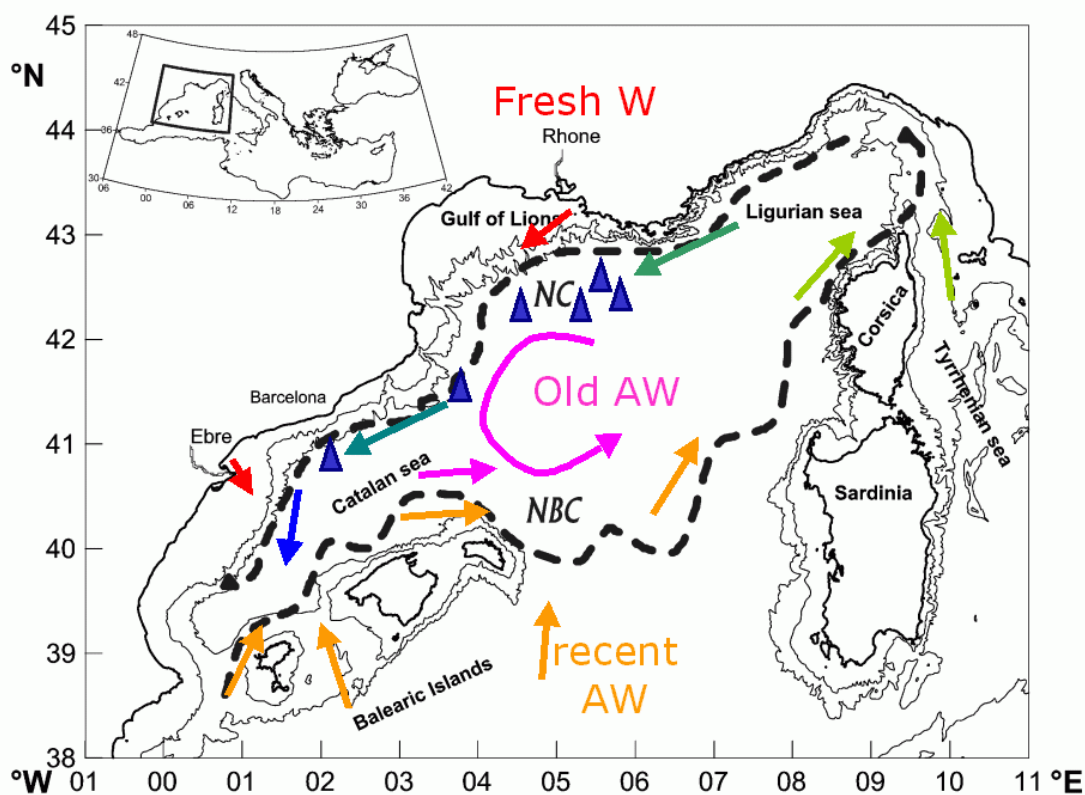


Figura 2. Mapa de circulació superficial, fronts i masses d'aigua al Mediterrani nord-occidental. Font: Salat, 2009. Es pot observar com les aportacions del Roine reforcen el Corrent Català que té el seu origen en el Corrent del Nord (NC). Les figures triangulars mostren la presència de fronts de densitat, provocats per canvis de salinitat a la banda continental i per canvis de temperatura a la banda insular. El Corrent Balear (NBC), que té origen en una de les branques del Corrent Català, es dirigeix cap al nord-est seguint la plataforma balear.

1.3.4 L'estacionalitat al mar Mediterrani

Al llarg d'un cicle anual, l'estratificació de la columna d'aigua evoluciona, des de la barreja vertical de l'hivern a la màxima estratificació de l'estiu, influint sobre el fitoplàncton.

La variació estacional del fitoplàncton en mars temperats està caracteritzada típicament pel màxim anual de biomassa durant l'anomenada floració primaveral (spring bloom), quan la interacció entre la disponibilitat de nutrients i l'estabilitat de la columna d'aigua promouen un creixement exponencial del fitoplàncton. Al Mar Mediterrani, però, el bloom anual més important sovint es dona com a molt aviat al febrer (Estrada, 1985), quan el gruix de la capa barrejada excedeix notablement la profunditat definida per Sverdrup (1953) i la termoclina no està ben establerta.

A continuació s'expliquen les característiques principals de la columna d'aigua a cada estació:

A l'hivern es dona barreja vertical activa al Mediterrani, l'estabilitat és mínima i la columna d'aigua és homogènia. Les aportacions continentals són moderades. S'alternen períodes de calma amb altres de màxima agitació i, sovint, durant les calmes que segueixen els temporals es donen les màximes abundàncies de fitoplàncton. Malgrat la baixa insolació, la producció primària arriba al seu màxim.

A la primavera, l'aigua de superfície s'escalfa ràpidament i es forma la termoclina. Llavors es desenvolupa l'estratificació dins la capa superficial. Les aportacions d'aigües continentals arriben a llur valor màxim. Com que la termoclina és molt superficial, les aigües dolces poden escampar-se molt lluny. En aquesta època de l'any, les poblacions de fitoplàncton que havien arribat al seu màxim anual a superfície comencen a disminuir.

A l'estiu es manté l'estratificació i la temperatura superficial arriba al seu màxim. La termoclina és cada vegada més fonda i es forma una capa de barreja superficial. S'obtenen masses d'aigua superficials d'estiu, de les quals es coneix l'origen per la salinitat. S'acaben els nutrients a la zona fòtica. Les aportacions continentals són mínimes. Queden restes de poblacions de fitoplàncton en una capa cada vegada més fina en el límit inferior de la zona fòtica.

A la tardor es destrueix l'estratificació. Així com la formació de la termoclina es va formant gradualment, la seva destrucció es produeix a salts d'una manera sobtada. Apareixen aportacions importants d'aigua continental, però l'abast és més local que a la primavera per l'estat de l'estratificació i la relativa menor abundància d'aigua (ja que no hi ha desglaç). Apareixen taques de fitoplàncton associades a les aportacions continentals i a l'efecte de la barreja vertical, donada l'erosió de la termoclina. La insolació és mínima i la producció primària augmenta clarament respecte a l'estiu.

En general, hi ha dos pics de producció primària i biomassa fitoplanctònica: a la tardor, quan s'inicia la destrucció de la termoclina, i a l'inici de la primavera, quan s'inicia l'estratificació de l'estiu. La quantitat de biomassa que pot mantenir una determinada regió marina dependrà de la producció primària, és a dir, de la d'origen vegetal. I la producció primària està molt condicionada per l'abundància i disponibilitat de nutrients a la zona fòtica (Margalef, 1978). Llum i nutrients doncs, són els elements indispensables pel desenvolupament del fitoplàncton.

2 MATERIAL I MÈTODES

2.1 Metodologia de mostreig i procediments d'anàlisi

2.1.1 Aigua

Les mostres d'aigua es van obtenir amb una roseta equipada amb una sonda CTD i 24 ampolles Niskin (Fig. 3). CTD vol dir conductivitat, temperatura i densitat. A més d'aquests paràmetres, la roseta portava altres sensors que donen informació sobre la salinitat, la transmissivitat i la clorofil·la a. Aquest equip, un cop a l'aigua, pot baixar fins a la profunditat desitjada i les dades que obté de la columna d'aigua són transmeses a un ordinador situat a bord.



Fig. 3 Roseta oceanogràfica amb la sonda CTD, ampolles Niskin i part de l'equip tècnic encarregat de llençar-lo. Font: elaboració pròpia.

Respecte a les ampolles Niskin, cada una tenia una capacitat de 12 L. L'equip tècnic del vaixell, en baixar el CTD, obria cada una de les ampolles a una profunditat determinada. D'aquesta manera, amb el conjunt d'aigua recollit es podien realitzar perfils de la columna d'aigua.

Per a determinar les activitats totals de ^{234}Th , es van agafar mostres de ~4 L d'aigua cadascuna a diferents profunditats. Els perfils de la columna d'aigua comprenien 9-12 profunditats de mostreig a la primera campanya (FAM1) i, 14-16 a la segona (FAM2) i es van realitzar sis estacions a cadascuna de les campanyes (Fig 4). Dins de cada perfil, la majoria de les profunditats van ser escollides en els primers 200 m, tot i que també es van agafar algunes mostres més profundes. Cal destacar que a un dels perfils es van agafar replicats de mostres a 1000 m (ThDepth 1-3).

Després d'obtenir les mostres del CTD, aquestes van ser acidificades fins a $\text{pH}\sim 1$, afegint 7 mL d' HNO_3 . També es van afegir 400 μL de traçador ^{230}Th d'una solució d'activitat $221.2 \pm 2.4 \text{ mBq/ mL}$, per tal de determinar la

recuperació química de Th-234 durant el procés d'anàlisi. Les mostres van ser agitades enèrgicament per homogeneïtzar-les correctament.

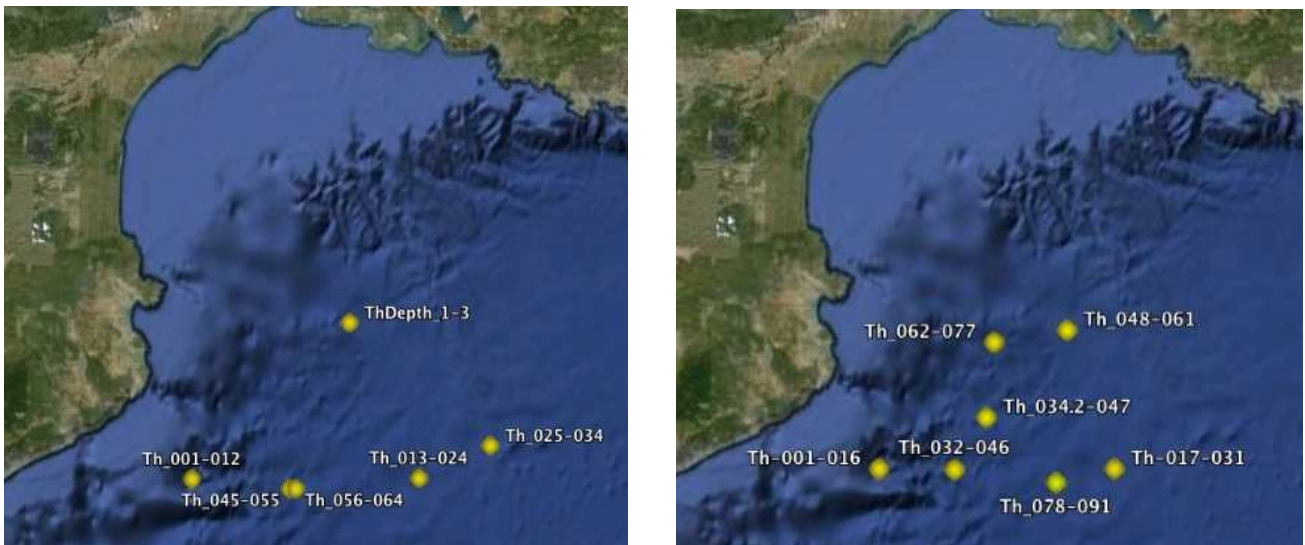


Fig. 4 Mapa amb les estacions de mostreig per les mostres d'aigua de FAM1 (esquerra) i per FAM2 (dreta). Font: elaboració pròpia a partir d'imatges de l'Institut Cartogràfic de Catalunya.

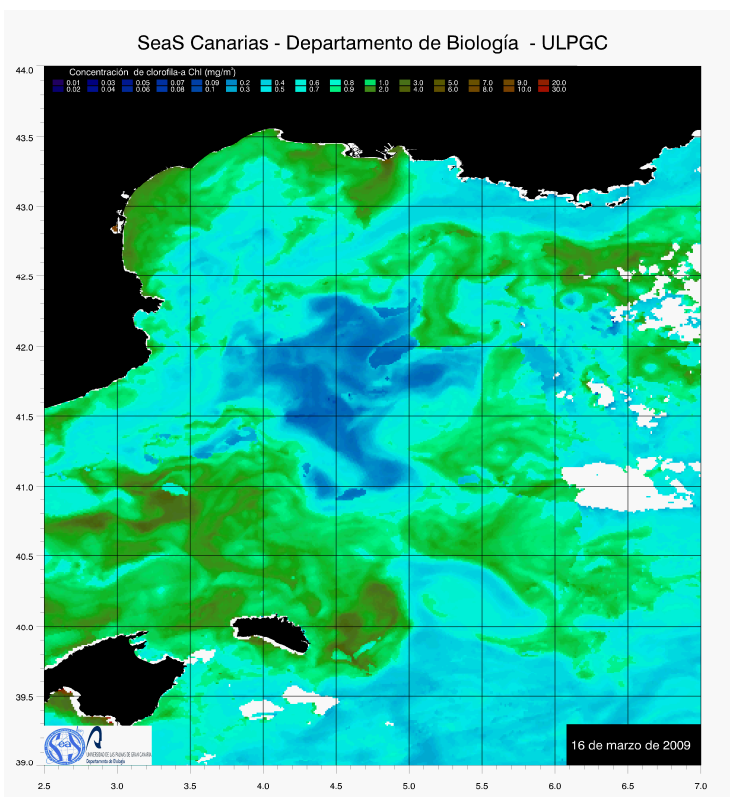


Fig. 5 Imatges de satèl·lit de la conca nord-occidental del Mar Mediterrani corresponent al 16 de març del 2009 (FAMOSO 1). S'observen les diferents concentracions de clorofil·la a, per a la zona d'estudi. La clapa blava (0,1 mg/m³ de Chl) fa referència la zona de convecció.

Tot i que les coordenades de les estacions de la primera i la segona campanya no coincideixen exactament, amb aquesta imatge s'observa que tots els punts de mostreig es troben dins de la zona de convecció.

Imatges cedides pel SeaS Canarias, Departamento de Biología (ULPGC).

Es van deixar passar 6 hores per tal de permetre l'equilibri. Passat aquest temps, es va afegir NH_3 fins a pH 7.5 i, després d'agitar la mostra i comprovar que el pH no variava, s'afegiren 50 μL de KMnO_4 (7,5g/L) i de MnCl_2 (30g/L), respectivament i es va tornar a agitar. Aquests últims reactius generen un precipitat en pH bàsic al qual el Th s'adsorbirà (Rodríguez i Baena *et al.*, 2006).



Fig. 6 Sistema de filtratge per les mostres d'aigua del Th-234. Font: elaboració pròpia.

Tot seguit, es va esperar uns 30 minuts abans de filtrar la mostra per a separar el precipitat (Fig. 6). Es van fer servir filtres QMA de 2.5 cm de diàmetre, anotant les hores d'inici i final de la filtració. Seguidament, aquests filtres amb el precipitat es van col·locar en estufes per tal d'assecar-los abans de preparar-los per poder mesurar les emissions beta del Pa-234 (descendent del Th-234 i en equilibri). El procés d'encapsular els filtres és manual i força senzill: el filtre es col·locat en una peça de plàstic sota una làmina de film de plàstic transparent que el protegeix i dues de paper d'alumini que atenuen la senyal del Th-234.

2.1.2 Trampes de sediment

Les trampes flotants de sediment serveixen per recollir el material particulat que sedimenta. Cada trampa flotant de sediment (Fig. 7) constava de 12 tubs de 6.8 cm de diàmetre i un volum de 1.6 L cadascun. Es van fer servir tres trampes de sediments col·locades a tres profunditats (100, 200 i 400 m), mitjançant un sistema de flotadors i pesos. Es deixaven al mar una mitjana d'un dia. Cal destacar que quan les condicions meteorològiques no permetien una segura recollida de les trampes, aquestes van haver de romandre al mar dos dies.

Les mostres de partícules contingudes en els tubs de les trampes en recollir-les es traspassaven a ampolles per poder filtrar-les. A partir d'aquí el procés és el mateix que el descrit per les mostres d'aigua explicat a l'apartat anterior.



Fig. 7 Recollida d'una de les trapes.
Font: Elaboració pròpia

Es van agafar tres mostres per a cada estació, corresponents a cada una de les 3 profunditats, i es van realitzar 5 estacions a la primera campanya i 6 a la segona (Fig. 8).



Fig. 8 Mapa amb les estacions de mostreig de les trapes de sediment de FAM1 (esquerra) i FAM2 (dreta). *Font: elaboració pròpia a partir d'imatges de l'Institut Cartogràfic de Catalunya.*

Les trapes de sediment es fan servir per mesurar el flux vertical de matèria orgànica particulada, incloent el POC (carboni orgànic particulat), al mar. Una vegada conegut aquest flux, es pot establir una relació entre el carboni i el tori. En aquest treball només s'ha treballat amb els fluxos de Th obtinguts a les trapes per tal de comparar-los amb els de les mostres provinents del CTD.

2.2 Determinació de l'activitat: comptador beta

Les mesures de l'activitat de ^{234}Th s'han realitzat en un comptador beta fabricat per RISØ National Laboratories que està envoltat de 10 cm de plom (Rutgers van der Loeff *et al.*, 2006). De fet, es mesuren les emissions beta del fill del ^{234}Th (^{234}Pa), en equilibri amb ell, degut a que les beta del ^{234}Th són molt febles i poden ser atenuades pel propi precipitat, la qual cosa no succeeix amb el ^{234}Pa . L'eficiència de detecció del sistema de mesura utilitzat és de l'ordre del 49.3%.

Cada mostra ha estat mesurada almenys dos cops (Buesseler *et al.*, 2001, Waples *et al.*, 2003). La primera mesura es va dur a terme just després de la filtració de la mostra, per tal de determinar l'activitat inicial; la mostra es deixava al detector unes 12 hores. La següent mesura es realitzà 6-8 mesos després de la primera, temps que correspon a set períodes de semidesintegració del ^{234}Th i, pel qual s'assumeix que s'ha desintegrat pràcticament tot. En aquest cas la mostra es deixava comptant unes 24 hores. D'aquesta manera, es determina l'activitat de fons de la mostra, tenint en compte els radionúclids emissors beta de vida llarga que també han estat captats pel precipitat de MnO_2 . Utilitzant ambdues mesures i realitzant les oportunes correccions per desintegració i tenint en compte les dates exactes de mostreig, separació a bord i comptatges, es pot determinar l'activitat inicial de ^{234}Th a la mostra d'aigua.

Després d'aquestes mesures la mostra és a punt per a la purificació radioquímica per tal de determinar la recuperació química (Pike *et al.*, 2005). Els càlculs corresponents al rendiment del ^{230}Th no s'inclouen en el present treball, perquè les mesures encara no s'han realitzat. Les dades aquí presentades han estat treballades assumint una recuperació mitjana de $97\% \pm 5$, en base als estudis previs realitzats al nostre laboratori. Així mateix, aquesta recuperació mitjana s'ha comprovat utilitzant les dades obtingudes aquí per a les mostres agafades a profunditats de diversos centenars de metres, a les quals el ^{234}Th es troba en equilibri amb l' ^{238}U .

També s'han tingut en compte les mostres ThDepth 1-3 de la primera campanya, corresponents a la profunditat de 1000 m, amb les quals s'ha obtingut una concentració de tori de $2,65 \pm 0,09$ dpm/L. Relacionant aquesta xifra amb la concentració d' ^{238}U obtinguda ($2,73 \pm 0,03$ dpm/L), surt una recuperació de $0,97 \pm 0,03$.

Respecte a la concentració d' ^{238}U és determinada amb prou precisió a través de les mesures de salinitat realitzades durant la campanya a partir de la relació establerta per Pates i Muir (2007).

3 RESULTATS

3.1 Perfils de ^{234}Th a la columna d'aigua

A la primera campanya es van obtenir un total de 54 mostres d'aigua agrupades en cinc perfils. Respecte a la segona campanya, van ser processades 90 mostres i es van realitzar 6 perfils. Les dades de les concentracions de ^{234}Th d'ambdues campanyes es troben a l'apèndix (Taula A.3).

L'activitat d' ^{238}U ha estat calculada a partir de la salinitat per a cada profunditat proporcionada per les dades del CTD, segons la relació establerta per Pates i Muir (2007):

$$^{238}\text{U} \text{ (dpm /L)} = (0.0713 \pm 0.0012) \times \text{salinitat}$$

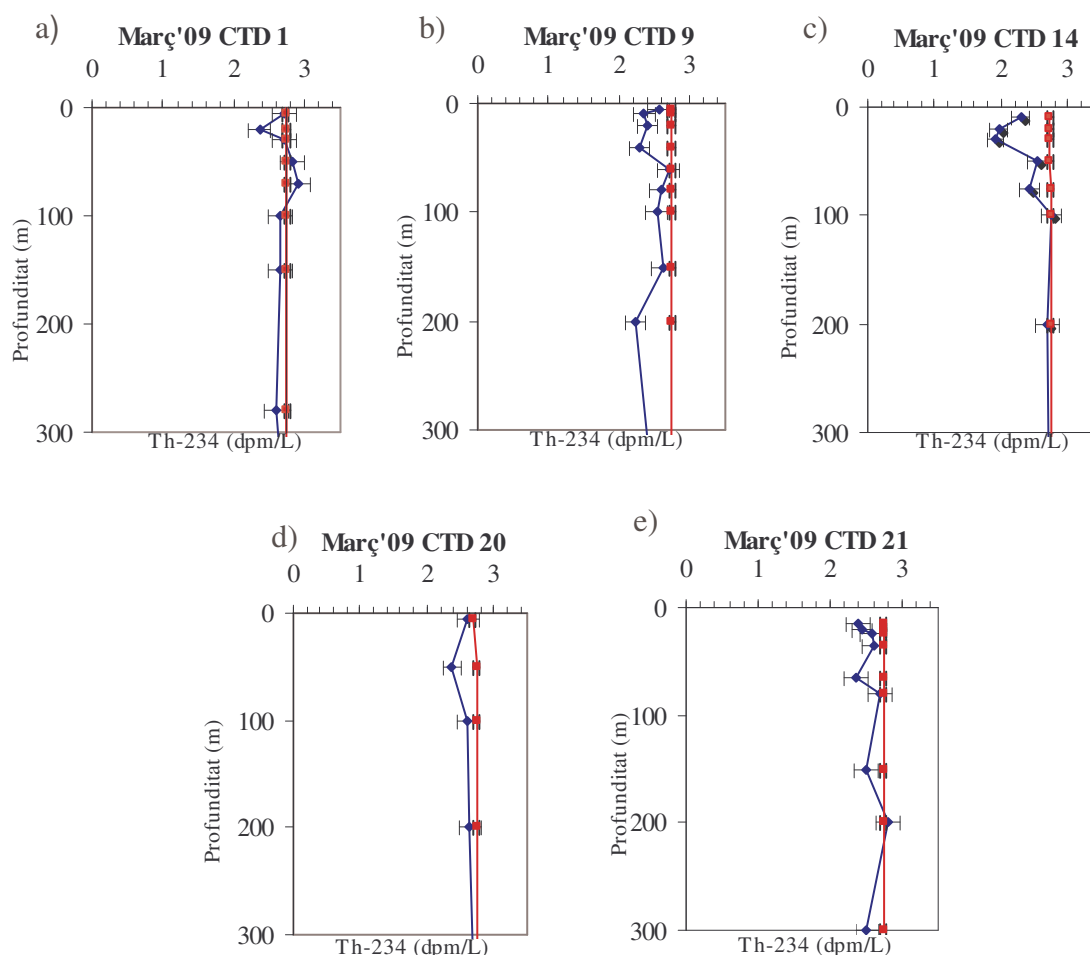


Figura 9. Perfils de concentracions de ^{234}Th de la primera campanya al març del 2009 en els primers 300 m de la columna d'aigua: en vermell, la concentració d' ^{238}U , gairebé constant a la columna d'aigua (~2,74 dpm/L) i, en blau, la de ^{234}Th . Font: elaboració pròpia.

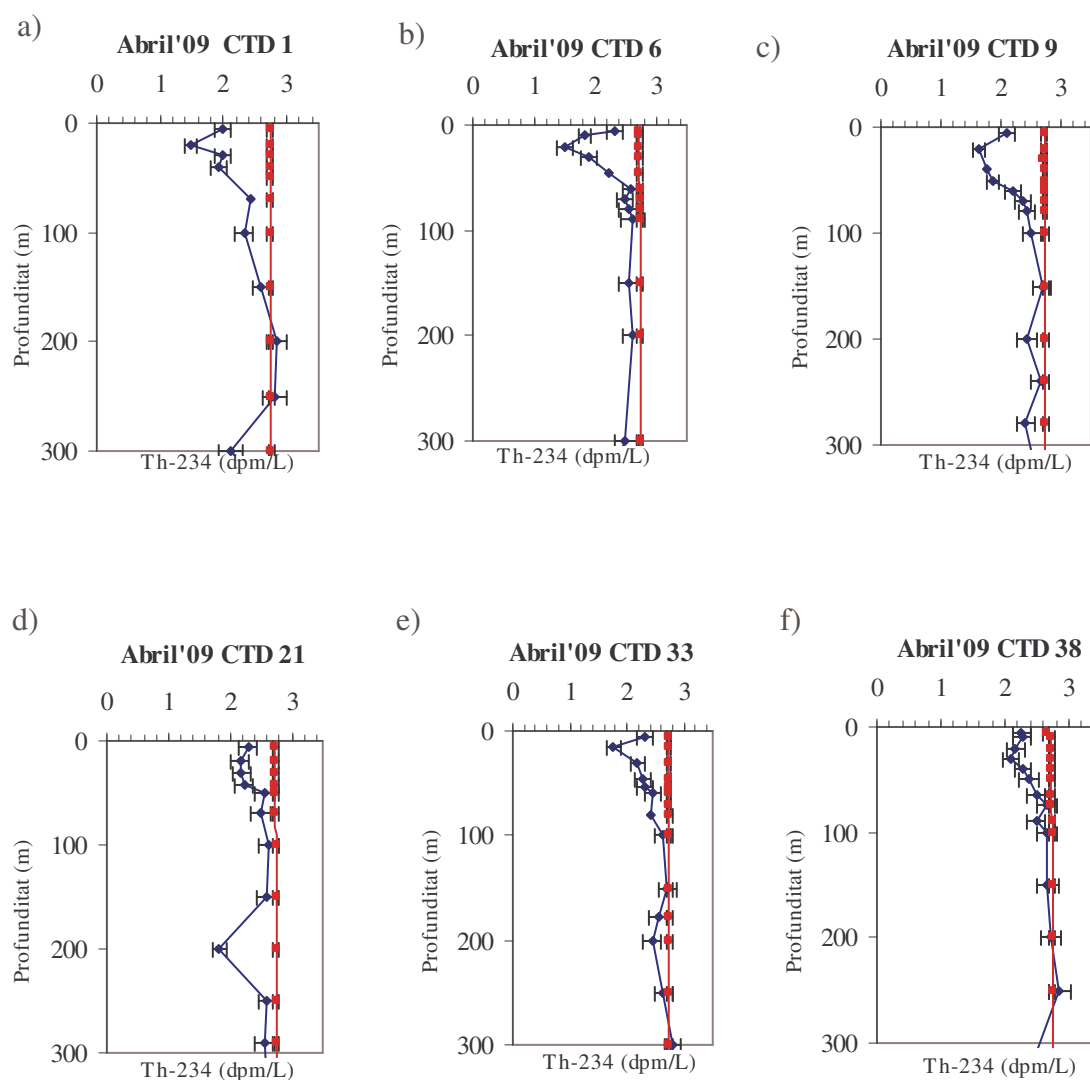


Figura 10. Perfils de les concentracions de ^{234}Th de la segona campanya en els primers 300 m de la columna d'aigua, realitzada entre el 29 d'abril i el 14 de maig: en vermell, la concentració d' ^{238}U , gairebé constant a la columna d'aigua ($\sim 2,74$ dpm/L) i, en blau, la de ^{234}Th . Font: elaboració pròpia.

En general, a la campanya de l'abril, es van obtenir concentracions de ^{234}Th menors que a la primera campanya. Els valors més baixos per a la concentració de ^{234}Th són $1,90 \pm 0,12$ dpm/L per a la primera campanya i $1,50 \pm 0,10$ dpm/L per a la segona.

Respecte a l'equilibri entre el ^{234}Th i el seu pare l' ^{238}U , que teòricament es dona entre els 50-200 m, en ambdues campanyes es compleix. Tanmateix, també s'observen mostres més profundes on s'arriba a aquest equilibri.

Els primers metres de la columna d'aigua són els que concentren més quantitat de mostres, doncs generalment és on hi ha més variabilitat i més matèria orgànica. També als primers metres és on es produeix el dèficit de ^{234}Th respecte l' ^{238}U degut a l'enfonsament de partícules.

En absència de partícules a la columna d'aigua, la concentració de ^{234}Th hauria d'ésser igual a la de l' ^{238}U a la columna d'aigua. Però com que els oceans no estan lliures de partícules que exporten el tori, la seva concentració a les capes superficials és inferior a la del seu pare. És el que es coneix com dèficit de Th i es calcula restant la seva concentració a la del seu pare, que prèviament ha estat calculada a partir de la salinitat per a cada profunditat.

Aquest dèficit respon a l'exportació de tori per les partícules i, dóna idea de la quantitat de partícules que s'enfonsen des de les capes superficials de la columna d'aigua, és a dir, des de la zona d'exportació. És en aquesta zona on es dóna la sedimentació de la matèria orgànica (restes de zooplàncton i els seus paquets fecals) cap al fons del mar. La major part dels processos de mineralització es produeixen en aigües profundes on ja no hi arriba la llum. Per contra, la zona d'exportació coincideix normalment amb la zona fòtica (capa superficial on arriba la llum) que és on es dóna la producció primària. Aquesta està molt condicionada a l'abundància i disponibilitat de sals minerals dissoltes en aquesta zona fòtica.

Els dèficits més grans de ^{234}Th obtinguts als perfils de la primera campanya, es donen a profunditats per sobre dels 70 m en general: 20 m al primer perfil, 30 m al tercer, 50 al quart i 65 m al cinquè. Respecte al segon perfil obtingut, el dèficit màxim es dóna als 200 m i de fet, també al quart perfil hi ha un important a 1550 m. Probablement es degui a problemes analítics ja que a aquestes profunditats el ^{234}Th i l' ^{238}U haurien d'estar en equilibri.

Per a FAMOSO 2, els punts de màxim dèficit generalment es donen als primers 30 m de la columna d'aigua: 20 m al primer, segon, tercer i quart perfil, 15 m al cinquè i 30 m al sisè. Però en alguns casos, també existeixen altres dèficits a més profunditat. La majoria dels perfils obtinguts per aquesta campanya presenten una o dues àrees importants de dèficit de tori.

En molts dels perfils de FAMOSO 1, s'han obtingut excessos de ^{234}Th per algunes profunditats elevades, és a dir, hi ha més del que hi hauria d'haver segons la concentració local del pare l' ^{238}U . Aquest fet també ha succeït en dos dels perfils de la segona campanya.

En tots els casos, les profunditats corresponents a aquests excessos de tori, semblen estar per sota de la zona d'exportació on es dóna el dèficit de ^{234}Th . Pot significar que el Th que havia estat enfonsat des dels primers metres de la columna d'aigua, s'hagi separat de les partícules a certa profunditat degut a processos de remineralització d'aquestes i, per tant, s'afegeix al Th que hi ha a l'aigua a tal profunditat.

3.2 Fluxos de ^{234}Th

3.2.1 Trampes de sediment

Es van mesurar un total de 33 mostres corresponents a les trampes de sediment flotants de les dues campanyes. L'activitat de ^{234}Th (dpm) obtinguda es va dividir per l'àrea de circumferència d'un tub de trampa i pel temps que aquesta va romandre al mar, obtenint així un flux de ^{234}Th (dpm/m² dia). A partir d'aquí, si es tingués el flux de carboni (POC) recollit per les trampes es podria establir numèricament la relació C: ^{234}Th , la qual es podria aplicar a l'activitat de ^{234}Th de les mostres d'aigua per tal d'obtenir el seu flux de carboni.

Durant la primera campanya es van col·lectar 15 mostres, en 5 estacions diferents. A la segona van ser 18 mostres i 6 estacions. Es va assumir una recuperació del 100%.

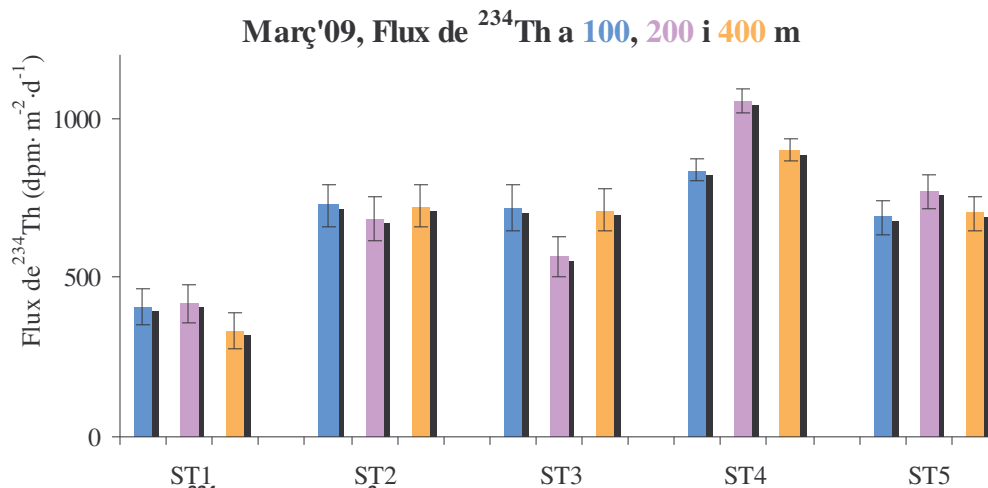


Fig. 11 Flux de ^{234}Th (dpm / m² dia) a 100 m (blau), 200 m (violeta) i 400 m (taronja) de les cinc trampes de sediment (ST) de la primera campanya al març del 2009. Font: elaboració pròpia.

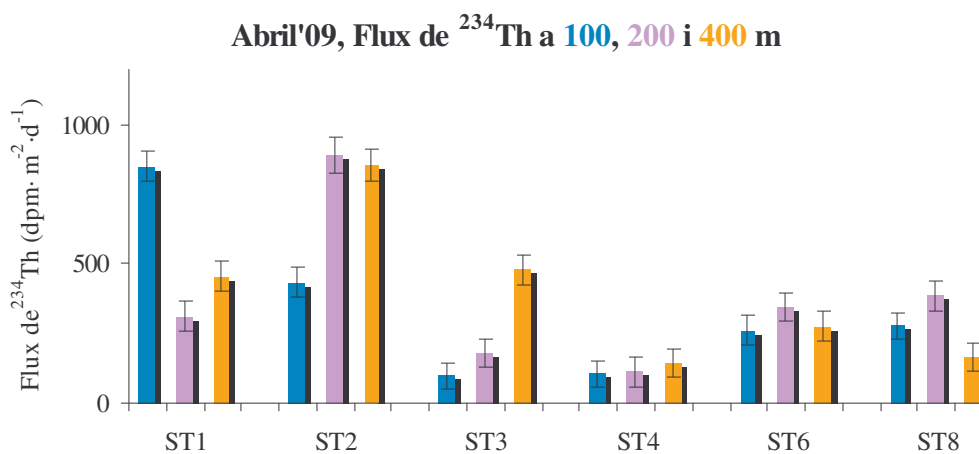


Fig. 12 Flux de ^{234}Th (dpm / m² dia) a 100 m (blau), 200 m (violeta) i 400 m (taronja) de les sis trampes de sediment (ST) agafades a la segona campanya a l'abril del 2009. Font: elaboració pròpia.

Respecte al flux de tori a 100 m, en ambdues campanyes el màxim obtingut és aproximadament el mateix (~800 dpm/ m² dia). I ha estat a la segona campanya on s'han donat els fluxos més petits. Per a les mostres de les altres profunditats, els valors aconseguits a la primera campanya són també superiors als de la segona.

Els fluxos de la segona campanya són més baixos ja que la floració del fitoplàncton va ocórrer entre les dues campanyes i per tant, l'exportació de partícules des de les capes més superficials ja s'havia produït quan es van posar les trapes a l'abril. A la primera campanya s'obtenen fluxos més grans perquè la remineralització per aquell període no va ser important.

3.2.2 Fluxos integrats de ²³⁴Th a la columna d'aigua i a les trapes de sediment

Amb el sumatori dels dèficits integrats (dpm/m²) de ²³⁴Th de cada perfil, multiplicats per la lambda del radionúclid ($\lambda = \ln 2 / T_{1/2}$), s'obtenen els fluxos integrats de dèficit de tori derivats de la columna d'aigua (dpm/m² dia).

Març'09, Fluxos integrats de ²³⁴Th a 100 m

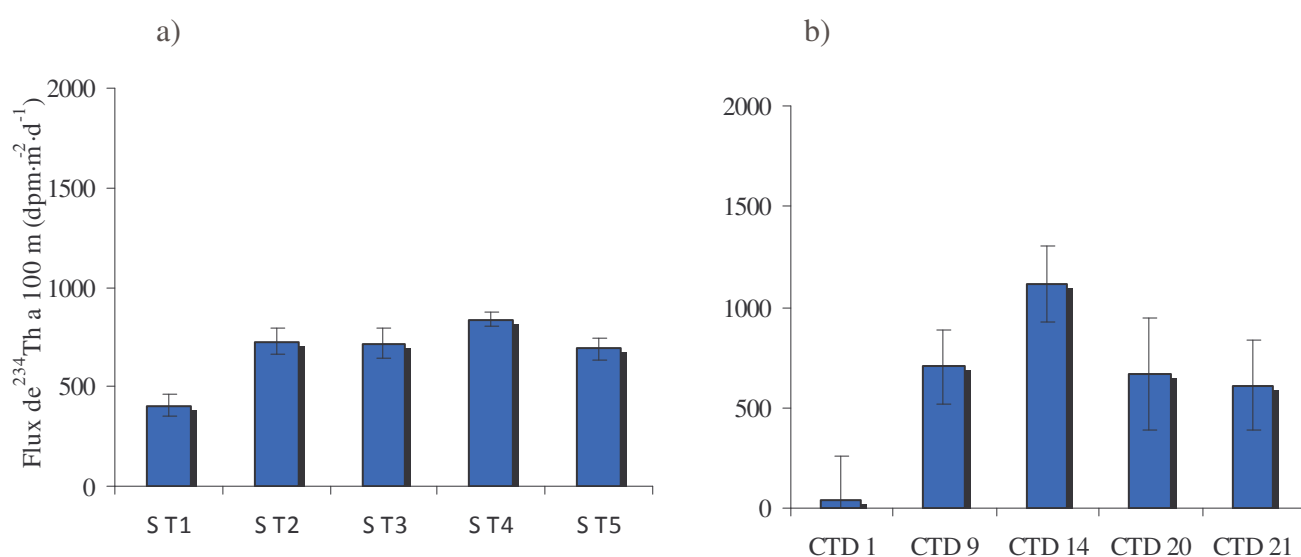


Fig. 13a Flux de ²³⁴Th (dpm / m² dia) a 100 m de les cinc trapes de sediment (ST) de la primera campanya al març del 2009 i 13b, fluxos integrats de dèficit de Th-234 (dpm / m² dia) a 100 m derivats de la columna d'aigua per a cada CTD de la primera campanya.

Font: elaboració pròpia.

Abril'09, Fluxos integrats de ^{234}Th a 100 m

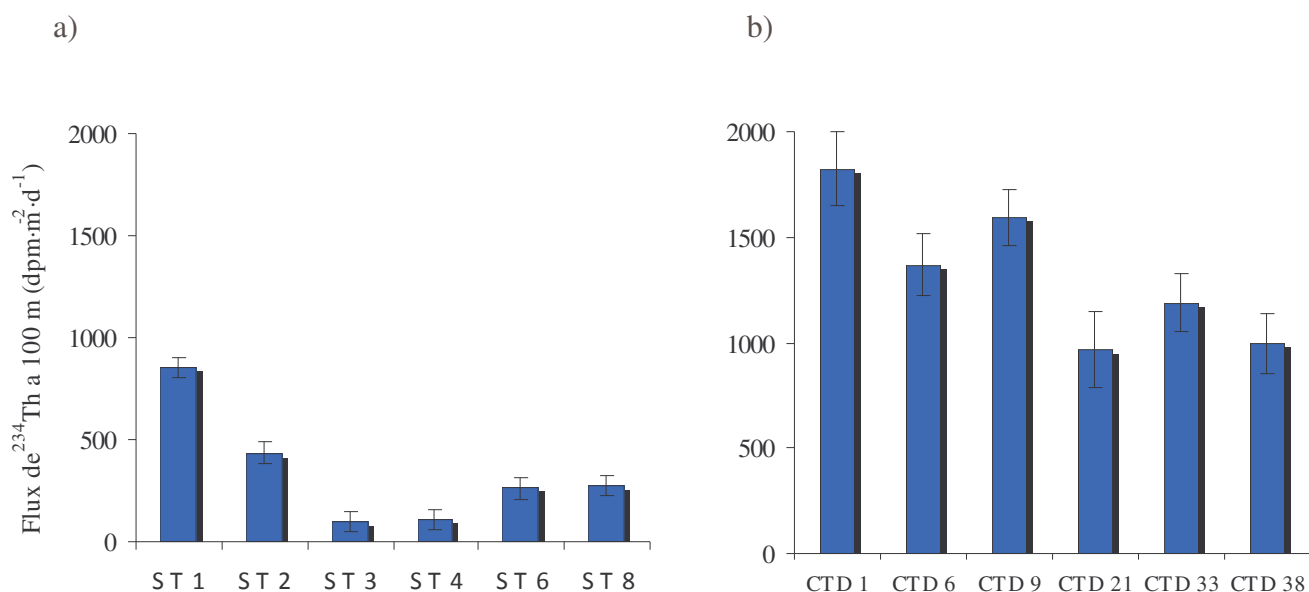


Fig. 14a Flux de ^{234}Th (dpm / m² dia) a 100 m de les sis trapes de sediment (ST) recollides a la segona campanya a l'abril del 2009 i 14b, fluxos integrats de dèficit de Th-234 (dpm / m² dia) a 100 m derivats de la columna d'aigua per a cada CTD de la segona campanya. Font: elaboració pròpia.

Els fluxos del dèficit de ^{234}Th derivats de la columna d'aigua corresponen als fluxos integrats al llarg de varies setmanes ja que, el període de semidesintegració d'aquest radionúclid és de 24,1 dies. Per contra, els fluxos obtinguts amb les trapes de sediment només integren un dia, que és el temps que les trapes van estar a l'aigua recollint les partícules que sedimentaven des de les capes més superficials.

La mitjana del flux de ^{234}Th obtinguda per a les trapes de sediment de la primera campanya ha estat de (683 ± 15) dpm/m² dia, mentre que per a la segona aquesta xifra és de (368 ± 12) dpm/ m² dia.

Els fluxos de la segona campanya corresponents a les trapes de sediment són menors que a la primera, perquè l'exportació de partícules ja s'havia produït. Però respecte als fluxos derivats de la columna d'aigua per a la mateixa profunditat, la situació és diferent. Són més grans a la segona campanya ja que mostren el que ha estat succeïnt durant les últimes setmanes que és quan s'ha produït l'exportació derivada de la floració de finals d'hivern.

3.3 Termoclina estacionària

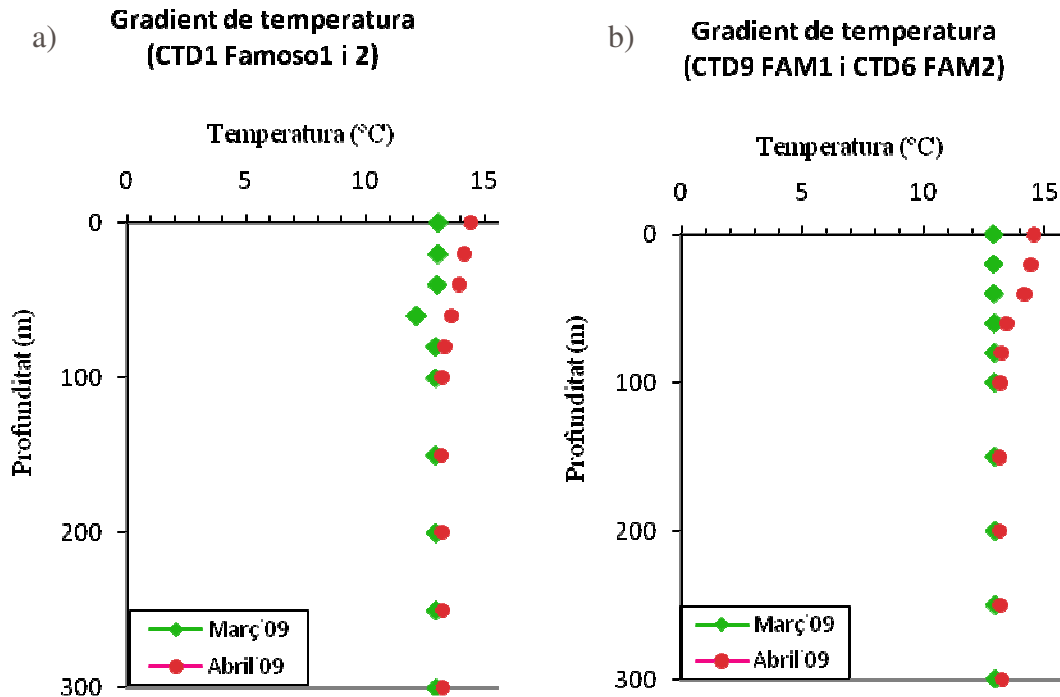


Fig. 15 a i b En verd es mostra la temperatura respecte a la profunditat de la primera campanya (finals d'hivern del 2009) i en vermell, de la segona (primavera del 2009). Per a 7a) les dades han estat obtingudes a partir de la informació del CTD1 de FAMOSO 1 i 2, i per b) del CTD9 de FAMOSO 1 i del CTD6 de FAMOSO 2. Els canvis bruscos de temperatura respecte a la profunditat donen informació d'on es troba la termoclina. Font: elaboració pròpia.

FAMOSO 1 es va dur a terme a finals de l'hivern, quan la columna d'aigua és homogènia donada la barreja vertical i la termoclina estacionària no està ben establerta. A la fig.15a es pot observar que a l'hivern al voltant dels 50 m la temperatura comença a disminuir fins als 60 m i, d'aquí comença a pujar fins a i recuperar el seu valor inicial als 70 m.

A la primavera i a la mateixa estació, s'observa que la temperatura disminueix als primers metres, però a partir dels 80 m ja no es restableix sinó que es manté constant. La zona de gradient vertical bruscat de temperatura amb poc augment de la profunditat és la termoclina.

La fig.15b resulta més representativa que la primera respecte a l'hivern doncs, mostra una temperatura gairebé constant, oscil·lant entre 12.75 i 12.90°C, la qual és la típica de l'Aigua Fonda del Mediterrani Occidental. Respecte a la termoclina formada a la primavera acaba als 70 m, és a dir, hi ha 10 m de diferència respecte les dades de la figura a).

4 DISCUSSIÓ

4.1 Dèficits de ^{234}Th a la columna d'aigua

Les concentracions de ^{234}Th obtingudes als perfils de la segona campanya són menors que les de la primera. La segona campanya, que es va realitzar després de la floració del fitoplàncton, respon a la sedimentació de partícules que va esdevenir setmanes abans, aproximadament després de l'apogeu de la floració del fitoplàncton. En aquest període de floració, l'activitat biològica a les capes més superficials de la columna d'aigua era elevada i també la sedimentació de les partícules provinent d'aquesta zona de la columna (Latasa, 2010). Per tant, s'obtenen dèficits de tori als primers metres de la columna d'aigua més grans a la segona campanya.

Alguns autors situen l'apogeu de la floració del fitoplàncton al Mediterrani nord-occidental durant el 15 i el 30 de març i el seu declivi després del 15 d'abril (Bosc *et al.*, 2004; Morales, 2006). Per tant, FAMOSO 1 va cobrir part del període previ a la floració del fitoplàncton i també, part de l'inici d'aquesta floració. El moment que integren els perfils d'aquesta campanya correspon a l'exportació de tori, per les partícules de les capes més superficials de la columna d'aigua, en període hivernal i abans de la floració del fitoplàncton. També és a l'hivern quan es produeix l'Aigua Fonda del Mediterrani Occidental, donant-se el procés de convecció profunda que abasta fins al fons del mar. A la columna d'aigua es dona barreja vertical i per tant, és homogènia; la termoclina no està ben establerta. Segons imatges de satèl·lit (Fig.5), el 16 de març encara s'estava donant el procés de convecció.

Entre els perfils de FAMOSO 2, que es va realitzar entre el 29 d'abril i el 14 de maig, existeixen certes diferències. El primer i el segon perfil, mostrejats el 29 i el 30 d'abril respectivament, presenten uns dèficits de concentracions superiors a la resta de perfils d'aquesta campanya: 1,24 i 1,22 dpm/L. La resta de perfils es van realitzar el 3, el 7, el 10 i l'11 de maig.

Els dos primers perfils corresponen a l'exportació de tori aproximadament d'un mes abans d'ésser mostrejats. Aquest període coincideix amb l'apogeu de la floració del fitoplàncton, quan a les capes més superficials de la columna d'aigua hi ha més activitat biològica i més sedimentació de partícules derivada d'aquesta activitat. Els altres perfils presenten uns dèficits de Th-234 inferiors ja que, fan referència la període posterior a la floració, quan l'activitat biològica comença a disminuir.

4.2 Fluxos de ^{234}Th de la columna d'aigua i a les trampes de sediment

Les estimacions del fluxos de ^{234}Th derivades de les trampes de sediment i de la columna d'aigua donen una visió complementària sobre el dèficit del

radionúclid a la columna d'aigua. Les dues aproximacions són especialment útils per entendre variacions del flux de ^{234}Th en regions com el Mediterrani nord-occidental, on es dona una transició anual de condicions mesotròfiques a oligotròfiques (Cochran *et al.*, 2009).

Els fluxos integrats de dèficit de ^{234}Th obtinguts a la primera campanya a la profunditat de 100 m (Fig. 13b) no mostren una tendència regular en el temps. Corresponen al comportament de les partícules que han sedimentat durant el més de febrer, aproximadament. Poden fer referència a la barreja que es dona a la columna d'aigua en aquesta zona del Mediterrani donat el procés de convecció.

Pel que fa a les trapes de sediment de FAMOSO 1 (Fig. 13a) mostren fluxos de ^{234}Th a 100 m més grans que les de FAMOSO 2 perquè van ser mostrejades a l'inici de la floració del fitoplàncton i per tant, la sedimentació de partícules derivada de la zona fòtica és més important que a la segona campanya.

No s'observa cap pauta entre els fluxos obtinguts a les trapes de sediment a diferents profunditats, el que justifica que no s'ha produït remineralització de les partícules en el període de mostreig i, per tant, aquestes segueixen sedimentant amb un flux aproximadament constant.

Respecte a la segona campanya, els fluxos integrats de dèficit de ^{234}Th (Fig. 14b) mostren certa tendència a la disminució en el temps. Corresponen a la sedimentació de partícules just després de la floració del fitoplàncton en endavant. Són més elevats que els de la primera campanya ja que integren un període de temps amb més activitat biològica a les capes superficials que deriva en una major sedimentació d'aquesta zona cap a les zones més profundes.

Els fluxos de tori de les trapes de sediment de FAMOSO2 no són molt elevats ja que van ser mostrejades després de la floració del fitoplàncton i, per tant, l'exportació de partícules ja havia tingut lloc. De fet, la primera mostra es va realitzar el 3 de maig i en teoria, el declivi de la floració té lloc a partir del 15 d'abril. Aquest fluxos són menors que a la primera campanya perquè ha hagut més remineralització per al període de la segona campanya.

Més remineralització significa que les bacteries descomposen més les partícules i per tant, el tori adsorbit en elles passa a la fase dissolta. D'aquesta manera, es donen fluxos menors de partícules i fluxos també menors de ^{234}Th .

5 CONCLUSIONS I PERSPECTIVES DE FUTUR

Els fluxos de ^{234}Th derivats de les trampes de sediment i de la columna d'aigua són complementaris (Stewart *et al.*, 2007b; Cochran *et al.*, 2009). Les trampes donen una resolució temporal del moment del mostreig mentre que, els perfils de la columna d'aigua informen sobre la tendència temporal del flux.

FAMOSO 1 es va realitzar a finals d'hivern, cobrint part del període previ a la floració del fitoplàncton, i part de l'apogeu de la floració. Els perfils de la columna d'aigua d'aquesta campanya corresponen a la tendència del tori des de les últimes setmanes, és a dir, quan encara no s'ha donat la floració. En aquest moment es dona el procés de convecció profunda al Mediterrani nord-occidental i la columna és homogènia.

La principal diferència entre els perfils d'ambdues campanyes és que els dèficits de ^{234}Th són majors a la segona campanya. El valor màxim obtingut a FAMOSO 1 és $0,83 \pm 0,13$ dpm/L mentre que per a la segona campanya és de $1,24 \pm 0,11$ dpm/L.

Els fluxos derivats de les trampes de sediment de FAMOSO1 són més grans que els de la segona campanya, perquè coincideixen amb l'inici de la floració del fitoplàncton i la sedimentació de partícules derivada és més important que a la segona campanya. Els fluxos tan similars obtinguts per a les diferents profunditats d'una trampa, signifiquen que hi ha hagut poca mineralització per aquest període.

Les mostres de FAMOSO 2 es van agafar a la primavera, després de la floració. Els dèficits de ^{234}Th derivats dels perfils de la columna d'aigua són majors que els de la primera campanya perquè corresponen a la integració del període de floració del fitoplàncton. En aquest moment el fitoplàncton té una activitat biològica alta i, per tant, es dona més exportació de tori degut a la sedimentació de partícules des de les capes més superficials de la columna d'aigua.

Els fluxos de tori de les trampes de sediment són inferiors a FAMOSO 2 perquè les mostres d'aquesta campanya van ser agafades després de la floració i l'exportació ja s'havia produït. A més, per al període de la segona campanya ha hagut més remineralització que significa que les bacteres descomposen més les partícules i per tant, el tori adsorbit en elles passa a la fase dissolta. D'aquesta manera, es donen fluxos menors de partícules i fluxos també menors de ^{234}Th .

Cal esperar a obtenir les mesures corresponents al rendiment químic de les anàlisis de ^{234}Th , per a corregir estrictament les concentracions obtingudes i saber si s'ha de realitzar alguna correcció respecte a la recuperació mitjana assumida als resultats presentats en aquest treball. Tanmateix, les correccions probablement siguin menors, ja que s'han tingut en compte els estudis previs

realitzats al nostre laboratori i també, aquesta recuperació s'ha comprovat amb les dades obtingudes a profunditats de diversos centenars de metres, a les quals el ^{234}Th es troba en equilibri amb l' ^{238}U .

D'altra banda, quan els fluxos de ^{234}Th de les mostres obtingudes a FAMOSO 3, que es va realitzar en condicions oligotròfiques, estiguin disponibles, es podrà completar el cicle de les partícules al Mediterrani nord-occidental a tots els escenaris possibles.

Amb tot el conjunt de dades aconseguides per tots els grups de treball que han treballat en el Projecte FAMOSO, es podrà conèixer molt més la floració en aquest zona tan important i amb característiques tan peculiars del Mediterrani.

Quan el carboni a les partícules de les trapes estigui determinat, s'obtéindrà la ràtio C/Th i es podran calcular els fluxos de carboni a partir dels de tori. També les dades de producció primària, que s'obtinguin, podran ser relacionades amb l'exportació de C per tal d'establir l'eficiència de la bomba biològica.

6 BIBLIOGRAFIA

- ANDRÉ, G., GARREAU, P., GARNIER, V. i FRAUNIÉ, P. (2005). "Modelled variability of the sea surface circulation in the North-western Mediterranean Sea and in the Gulf of Lions". *Earth and Planetary Science. Ocean Dynamics* 55 (3-4), pp. 294-308.
- BENITEZ-NELSON, C.R., BUESSELER, K.O., VAN DER LOEFF, M.R., ANDREWS, J., BALL, L., CROSSIN, G. i CHARETTE, M.A. (2001). "Testing a new small-volume technique for determining Th-234 in seawater". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 248 (3), 795-799.
- BUESSELER, K.O., BENITEZ-NELSON C.R., RUTGERS VAN DER LOEFF, M., ANDREWS, J., BALL, L., CROSSIN, G., CHARETTE, M.A. (2001). "An intercomparison of small- and large-volume techniques for thorium-234 in seawater". *Marine Chemistry* 74 (1), 15-28.
- BOSC, E., BRICAUD, A. i ANTOINE, D. (2004). "Seasonal and interannual variability in algal biomass and primary production in the Mediterranean sea, as derived from 4 years of Seawifs observations". *Global Biogeochemical Cycles* 18. GB1005, doi: 10-1029/2003GB002034
- BOURDON, B., TURNER, S., HENDERSON, G. i LUNDSTROM, C. (2003). "Introduction to U-series Geochemistry". *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 52, pp. 1-23.
- BROWN, J., COLLING, A., PARK, D., PHILLIPS, J., ROTHERY, D. i WRIGHT, J. (1991). *The Ocean Basins: Their Structure and Evolution*. The Open University. Oxford, Pergamon Press.
- CHEN, J.H., EDWARDS, R.L. i WASSERBURG, B.J. (1986). "²³⁸U, ²³⁴U and ²³²Th in seawater". *Earth and Planetary Science Letters* 80, 241-251.
- COCHRAN, J.K. i MASQUÉ, P. (2003). "Short-lived U/Th Series Radionuclides in the Ocean: Tracers for Scavenging Rates, Export Fluxes and Particle Dynamics". *Reviews in Mineralogy & Geochemistry* 52, pp. 461-492.
- COCHRAN, J.K., MIQUEL, J.C., ARMSTRONG, R., FOWLER, S., MASQUÉ, P., GASSER, B., HIRSCHBERG, D., SZLOSEK, J., RODRÍGUEZ i BAENA, A.M., VERDENY i E., STEWART, G. (2009). "Time measurements of ²³⁴Th in water column and sediment trap samples from the northwestern Mediterranean". *Deep-Sea Research Part II* 56, pp. 1487-1501.
- COMMONER, B. (1990). *Making peace with the planet*, Nueva York, Panteón.

- DUCLOW, H.W., STEINBERG, D.K. i BUESSELER, K.O. (2001). "Upper Ocean Carbon Export and the Biological Pump". *Oceanography, Special Issue JGOFS*, 14 (4), pp. 50-58.
- EISENBUD, M. i GESELL, T. (1997). *Environmental Radioactivity. From Natural, Industrial, and Military Sources*. Quarta edició. Academic Press.
- ESTRADA, M., VIVES, F. i ALCARAZ, M. (1985). "Life and productivity in the open sea". In: Margalef, R. (Ed.), *Western Mediterranean*. Oxford, Pergamon Press, pp. 148–197.
- FEELY, R.A., SABINE, C.L., TAKAHASHI, T. i WANNINKHOF, R. (2001). "Uptake and store of carbon dioxide in the oceans: The global CO₂ survey". *Oceanography* 14 (4), pp. 18-32.
- GASCOYNE, M. (1992). "Geochemistry of the actinides and their daughters". In: *Uranium-series disequilibrium* Ivanovich, M. i Harmon, R. (eds). Oxford, Clarendon Press, p 34-61.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY (IAEA) (2004). *Sediment Distribution Coefficients and Concentration Factors for Biota in the Marine Environment. Technical Report Series 422*.
- IVANOVICH, M. (1992). "The phenomenon of radioactivity". In: *Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine, and Environmental Sciences*. Ivanovich, M. i Harmon, R. (eds). Oxford, Clarendon Press, pp. 1-33
- KEELING, R.F., PIPER, S.C., BOLLENBACHER, A.F. i WALKER, S.J. (2008). *Atmospheric CO₂ values (ppmv) derived from in situ air samples collected at Mauna Loa, Hawaii, USA. Carbon Dioxide Research Group. Scripps Institution of Oceanography (SIO), University of California*. La Jolla, California USA 92093-0444.
<http://cdiac.ornl.gov/ftp/trends/co2/maunaloa.co2>
- LATASA, M. (2010). "Informe FAMOSO" . Ministerio de Ciencia y tecnología. Dirección General de Investigación. Nº REFERENCIA: CTM2008-06261-C03-C01/MAR.
- LEJEUSNE, C., CHEVALDONNÉ, P., PERGENT-MARTINI, C., BOUDOURESQUE, C.F. i PÉREZ, T. (2009). "Climate change effects on a miniature ocean: the highly diverse, highly impacted Mediterranean Sea". *Trends in Ecology and Evolution* 25(4), pp. 250-60.
- MARGALEF, R. (1978). "Life-forms of phytoplankton as a survival alternatives in unstable environments". *Oceanologica acta* (1), 4, pp. 493-509.
- MARGALEF, R. (1985). "Introduction to the Mediterranean". *A Western Mediterranean*. Margalef, R. (eds). Oxford, Pergamon Press, 1-16.

- MATSUMOTO, E. (1975). " ^{234}Th - ^{238}U radioactive disequilibrium in the surface layer of the ocean". *Geochimica et Cosmochimica Acta* 39, 205-212.
- MORALES, A.R. (2006). *Estudi Multitemporal de la Clorofil·la Superficial al Mar Mediterrani Nord-Occidental, avaluada a Partir de Dades SeaWiFS: Setembre del 1997 a Agost del 2004*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).
- PATES, J.M. i MUIR, G.K.P. (2007). "U-salinity relationships in the Mediterranean: Implications for ^{234}Th - ^{238}U particle flux studies". *Marine Chemistry* 106, pp. 530-545.
- PIKE, S., BUESSELER, K., ANDREWS, J. i SAVOYE, N. (2005). "Quantification of ^{234}Th recovery in small volume sea water samples by inductively coupled plasma mass spectrometry". *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 263 (2), 355-360.
- RODRIGUEZ I BAENA, A.M. MIQUEL, J.C., MASQUÉ, P., POVINEC, P.P. i LA ROSA, J. (2006). "A single vs. Double spike approach to improve the accuracy of ^{234}Th measurements in small-volume seawater samples". *Marine Chemistry*, 100 (3-4), 269-281.
- RUTGERS VAN DER LOEFF, M., SARIN, M.M., BASKARAN, M., BENITEZ-NELSON, C., BUESSELER, K.O., CHARETTE, M., DAI, M., GUSTAFSSON, O., MASQUÉ, P., MORRIS, P.J., ORLANDINI, K., RODRÍGUEZ Y BAENA, A., SAVOYE, N., SCHIMDT, S., TURNERWITSCH, R., VÖGE, I. i WAPLES, J.T. (2006). "A review of present techniques and methodological advances in analyzing ^{234}Th in aquatic systems". *Marine Chemistry* 100, pp. 190-212.
- SALAT, J. i FONT, J. (1985). "Masses d'aigua i circulació a la Mediterrània. A L'oceanografia-Introducció a l'ecologia marina mediterrània". *Col·lecció Quaderns d'Ecologia Aplicada*. Diputació de Barcelona, Barcelona, pp. 61-98.
- SALAT, J. (2009). "Resum d'Oceanografia Mediterrània". Institut de Ciències del Mar. Departament d'Oceanografia Física. Centre Superior d'Investigacions Científiques (CSIC).
<http://www.icm.csic.es/oce/ca/content/salat>
- SÁNCHEZ RON, J.M. (2009). *Marie Curie y su tiempo*. Barcelona, Crítica (eds).
- SANTSCHI, P.H., MURRAY, J.W., BASKARAN, M., BENITEZ-NELSON, C.R., GUO, L.D., HUNG, C.C., LAMBORG, C., MORAN, S.B., PASSOW, U. i ROY-BARMAN, M. i (2006). "Thorium speciation in seawater", *Marine Chemistry* 100 (3-4), 250-268.
- SIEGENTHALER, U. i SARMIENTO, J.L. (1993). "Atmospheric carbon dioxide and the ocean". *Nature* 365, pp. 119-125.

- SOMOT, S., SEVAULT, F. i DEQUE, M. (2006). "Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean sea for the twenty-first century using a high-resolution ocean circulation model". *Climate Dynamics* 27, pp. 851-879.
- STEWART, G., COCHRAN, J.K., XUE, XUE, J., LEE, C., WAKEHAM, S.G., ARMSTRONG, R.A. i MASQUÉ, P. (2007a). "Exploring the connection between ^{210}Po and organic matter in the northwestern Mediterranean". *Deep-Sea Research I* 54, pp. 415-427.
- STEWART, G., COCHRAN, J.K., MIQUEL, J.C., MASQUÉ, P., SZLOSEK, J., RODRÍGUEZI BAENA, A.M., FOWLER, S.W., GASSER, B. i HIRSCHBERG, D.J. (2007b). "Comparing POC export from $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ and $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ disequilibria with estimates from sediment traps in the northwestern Mediterranean". *Deep-Sea Research I* 54, pp. 1549-1570.
- STOCHER, T.F. i SCHMITTER, A. (1997). "Influence of CO₂ emission rates on the stability of the thermohaline circulation". *Nature*, 388 (6645), pp. 862-865.
- SVERDRUP, H.U. (1953). "On conditions for the vernal blooming of phytoplankton". *Journal du Conseil Permanent International pour l'Exploration de la Mer* 18, 287-295.
- VERDENY, E., MASQUÉ, P., MAITI, K., GARCIA-ORELLANA, HANFLAND, C., COCHRAN, J.K. i STEWART, G.M. (2009). "POC export from ocean surface waters by means of $^{234}\text{Th}/^{238}\text{U}$ and $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$ disequilibria: A review of the use of two radiotracer pairs". *Deep-Sea Research II* 56, pp. 1502-1518.
- WAPLES, J.T., ORLANDINI, K.A., WECKERLY, K.M., EDGINGTON, D.N. i VAL KLUMP, J. (2003). "Measuring low concentrations of ^{234}Th in water and sediment". *Marine Chemistry*, 80: 265-281.

7 APÈNDIX

Taula A.1 Coordenades i dates de les estacions del CTD de la primera i la segona campanya. *Font: Elaboració pròpia.*

ID Mostra	CTD	Coordenades		Data de mostreig
		Latitud N	Longitud E	
FAM1 Th 1-12	1	41°29.96'	03°29.77'	08/03/2009 23:59
FAM1 Th 13-24	9	41°30.018'	04°50.156'	11/03/2009 1:17
FAM1 Th 25-34	14	41°37.971'	05°13.199'	14/03/2009 20:10
FAM1 Th 45-55	20	41°27.543'	04°06.613'	18/03/2009 4:52
FAM1 Th 56-64	21	41°29.877'	04°04.527'	18/03/2009 9:36
FAM1 ThDepth 1-3	6	42°09.975'	04°25.92'	10/03/2009 13:55
FAM2 Th 1-16	1	41°30.01'	03°29.97'	29/04/2009 18:00
FAM2 Th 17-31	6	41°29.981'	4°52.42'	30/04/2009 13:00
FAM2 Th 32-46	9	41°29.887'	03°56.454'	03/05/2009 2:00
FAM2 Th 48-61	21	42°06.227'	04°36.135'	07/05/2009 13:31
FAM2 Th 62-77	33	42°03.087'	04°10.307'	10/05/2009 13:20
FAM2 Th 78-91	38	41°26.328	04°32.181	11/05/2009 17:25

Taula A.2 Coordenades i dates de les trapes de sediment de la primera i la segona campanya. *Font: Elaboració pròpia.*

ID Mostra	Coordenades llançament		Data de llançament	Coordenades recollida		Data de mostreig
	Latitud N	Longitud E		Latitud N	Longitud E	
FAM1 ST 1	41°33.0'	05°07.0'	13/03/2009 19:55	41°38.05'	05°12.0'	14/03/2009 18:52
FAM1 ST 2	41°27.454'	04°09.712'	17/03/2009 20:54	41°32.8'	04°04.9'	18/03/2009 17:00
FAM1 ST 3	41°33.013'	04°04.997'	18/03/2009 20:05	41°41.9'	04°12.5'	19/03/2009 17:54
FAM1 ST 4	41°42.0'	04°12.5'	19/03/2009 18:18	41°49.00'	04°27.4'	21/03/2009 16:00
FAM1 ST 5	41°48.04'	04°27.4'	21/03/2009 17:18	41°46.9'	04°36.9'	22/03/2009 16:30
FAM2 ST 1	41°30'	03°57'	03/05/2009 17:20	41°34.30'	03°59.68'	04/05/2009 14:35
FAM2 ST 2	41°34.30'	03°59.68'	04/05/2009 16:45	41°43'	04°07'	06/05/2009 14:50
FAM2 ST 3	42°05.881'	04°24.671'	06/05/2009 20:00	42°06'	04°36'	07/05/2009 14:45
FAM2 ST 4	42°00.070'	04°00.288'	07/05/2009 16:10	42°02.933'	04°04.015'	08/05/2009 16:15
FAM2 ST 6	42°03.363'	04°07.071'	09/05/2009 15:50	41°30.271'	04°38.542'	10/05/2009 19:00
FAM2 ST 8	41°22.578'	04°30.886'	10/05/2009 19:00	41°45'	04°41'	12/05/2009 19:52

Taula A.3 Activitats obtingudes de ^{234}Th i ^{238}U i flux del dèficit de Th-234 fins a 100 m per a les mostres del CTD de la primera i la segona campanya. *Font: Elaboració pròpia.*

Profunditat (m)	Th-234 (dpm/L)	U-238 (dpm/L)	Flux dèficit Th-234 (dpm/m ² dia) integrat a 100 m
5	2,71 ± 0,16	2,73 ± 0,05	
20	2,36 ± 0,15	2,74 ± 0,05	
30	2,72 ± 0,16	2,74 ± 0,05	
50	2,83 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
70	2,89 ± 0,19	2,74 ± 0,05	
100	2,65 ± 0,17	2,74 ± 0,05	36 ± 219
150	2,66 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
280	2,59 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
400	2,75 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
550	2,56 ± 0,16	2,74 ± 0,05	
1100	2,65 ± 0,16	2,74 ± 0,05	
1240	2,65 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
5	2,68 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
10	2,46 ± 0,15	2,74 ± 0,05	
20	2,50 ± 0,15	2,74 ± 0,05	
40	2,39 ± 0,15	2,74 ± 0,05	
60	2,81 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
80	2,70 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
100	2,65 ± 0,17	2,74 ± 0,05	705 ± 184
150	2,74 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
200	2,34 ± 0,15	2,74 ± 0,05	
400	2,65 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
500	2,90 ± 0,18	2,74 ± 0,05	
900	2,78 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
10	2,40 ± 0,15	2,73 ± 0,05	
20	2,05 ± 0,13	2,73 ± 0,05	
30	1,99 ± 0,13	2,73 ± 0,05	
50	2,67 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
75	2,52 ± 0,16	2,74 ± 0,05	
100	2,87 ± 0,18	2,75 ± 0,05	1114 ± 188
200	2,66 ± 0,17	2,75 ± 0,05	
400	2,70 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
500	2,56 ± 0,16	2,74 ± 0,05	
700	2,71 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
5	2,73 ± 0,17	2,69 ± 0,05	
50	2,50 ± 0,16	2,74 ± 0,05	
100	2,72 ± 0,17	2,74 ± 0,05	666 ± 275
200	2,69 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
400	2,77 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
500	2,86 ± 0,18	2,74 ± 0,05	
700	2,68 ± 0,17	2,74 ± 0,05	
1000	2,76 ± 0,18	2,74 ± 0,05	
1550	2,49 ± 0,16	2,74 ± 0,05	
2000	2,78 ± 0,18	2,74 ± 0,05	

2486	$2,68 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,05$	
15	$2,50 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,05$	
20	$2,55 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
25	$2,70 \pm 0,18$	$2,74 \pm 0,05$	
35	$2,72 \pm 0,18$	$2,74 \pm 0,05$	
65	$2,47 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,05$	
80	$2,81 \pm 0,18$	$2,74 \pm 0,05$	609 ± 222
150	$2,61 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,05$	
200	$2,84 \pm 0,18$	$2,74 \pm 0,05$	
300	$2,54 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
<hr/>			
1000	$2,49 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
1000	$2,77 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,05$	
1000	$2,68 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,05$	
<hr/>			
5	$1,98 \pm 0,12$	$2,73 \pm 0,05$	
20	$1,49 \pm 0,10$	$2,73 \pm 0,05$	
30	$1,98 \pm 0,12$	$2,73 \pm 0,05$	
40	$1,93 \pm 0,12$	$2,73 \pm 0,05$	
70	$2,43 \pm 0,15$	$2,73 \pm 0,05$	
100	$2,33 \pm 0,14$	$2,74 \pm 0,05$	1824 ± 179
150	$2,59 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
200	$2,85 \pm 0,19$	$2,74 \pm 0,05$	
250	$2,81 \pm 0,19$	$2,75 \pm 0,05$	
300	$2,10 \pm 0,14$	$2,75 \pm 0,05$	
350	$2,87 \pm 0,19$	$2,75 \pm 0,05$	
400	$2,87 \pm 0,19$	$2,75 \pm 0,05$	
475	$2,56 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,05$	
585	$2,81 \pm 0,19$	$2,74 \pm 0,05$	
1000	$2,58 \pm 0,17$	$2,74 \pm 0,05$	
<hr/>			
5	$2,32 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
10	$1,84 \pm 0,12$	$2,73 \pm 0,05$	
20	$1,50 \pm 0,10$	$2,73 \pm 0,05$	
30	$1,89 \pm 0,12$	$2,73 \pm 0,05$	
45	$2,23 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
60	$2,59 \pm 0,15$	$2,73 \pm 0,05$	
70	$2,49 \pm 0,15$	$2,73 \pm 0,05$	
80	$2,56 \pm 0,15$	$2,73 \pm 0,05$	
90	$2,61 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	1369 ± 145
150	$2,56 \pm 0,15$	$2,74 \pm 0,05$	
200	$2,60 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
300	$2,50 \pm 0,15$	$2,75 \pm 0,05$	
360	$2,11 \pm 0,13$	$2,75 \pm 0,05$	
400	$2,71 \pm 0,16$	$2,75 \pm 0,05$	
1000	$2,63 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
<hr/>			
5	$2,11 \pm 0,13$	$2,72 \pm 0,05$	
20	$1,63 \pm 0,11$	$2,73 \pm 0,05$	
40	$1,77 \pm 0,11$	$2,73 \pm 0,05$	
50	$1,87 \pm 0,12$	$2,73 \pm 0,05$	
60	$2,20 \pm 0,13$	$2,73 \pm 0,05$	
70	$2,37 \pm 0,14$	$2,74 \pm 0,05$	
80	$2,44 \pm 0,15$	$2,74 \pm 0,05$	
100	$2,51 \pm 0,15$	$2,74 \pm 0,05$	1593 ± 130

150	$2,70 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
200	$2,44 \pm 0,15$	$2,74 \pm 0,05$	
240	$2,66 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
280	$2,41 \pm 0,14$	$2,74 \pm 0,05$	
320	$2,55 \pm 0,15$	$2,74 \pm 0,05$	
400	$2,67 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
<hr/>			
5	$2,29 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
20	$2,16 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
30	$2,19 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
42	$2,23 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
50	$2,56 \pm 0,16$	$2,73 \pm 0,05$	
70	$2,50 \pm 0,15$	$2,73 \pm 0,05$	
100	$2,63 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	969 ± 177
150	$2,60 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
200	$1,83 \pm 0,12$	$2,75 \pm 0,05$	
250	$2,61 \pm 0,16$	$2,75 \pm 0,05$	
290	$2,56 \pm 0,15$	$2,75 \pm 0,05$	
330	$2,59 \pm 0,16$	$2,75 \pm 0,05$	
370	$2,66 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
400	$2,56 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
<hr/>			
5	$2,30 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
15	$1,76 \pm 0,11$	$2,72 \pm 0,05$	
30	$2,19 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
45	$2,27 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
54	$2,32 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
60	$2,44 \pm 0,15$	$2,73 \pm 0,05$	
80	$2,42 \pm 0,14$	$2,74 \pm 0,05$	
100	$2,63 \pm 0,15$	$2,74 \pm 0,05$	1187 ± 137
150	$2,71 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
178	$2,54 \pm 0,15$	$2,75 \pm 0,05$	
200	$2,44 \pm 0,14$	$2,75 \pm 0,05$	
250	$2,64 \pm 0,15$	$2,75 \pm 0,05$	
300	$2,80 \pm 0,16$	$2,75 \pm 0,05$	
330	$2,52 \pm 0,15$	$2,74 \pm 0,05$	
400	$2,69 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
<hr/>			
5	$2,26 \pm 0,14$	$2,64 \pm 0,05$	
10	$2,27 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
20	$2,17 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
30	$2,10 \pm 0,13$	$2,73 \pm 0,05$	
40	$2,28 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
50	$2,38 \pm 0,14$	$2,73 \pm 0,05$	
65	$2,49 \pm 0,15$	$2,73 \pm 0,05$	
75	$2,66 \pm 0,16$	$2,73 \pm 0,05$	
90	$2,49 \pm 0,15$	$2,74 \pm 0,05$	
100	$2,67 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	996 ± 145
150	$2,67 \pm 0,16$	$2,74 \pm 0,05$	
200	$2,72 \pm 0,16$	$2,75 \pm 0,05$	
250	$2,85 \pm 0,17$	$2,75 \pm 0,05$	
400	$1,94 \pm 0,12$	$2,75 \pm 0,05$	

Taula A.4 Activitats obtingudes de ^{234}Th i ^{238}U i flux del dèficit de Th-234 per a les mostres de les trames de sediment de la primera i la segona campanya.
Font: Elaboració pròpia.

ID Mostra	Th-234 (dpm/L)	Flux dèficit Th-234 (dpm/m ² dia)
FAM1_ST1_100 m	1,41 ± 0,20	406 ± 57
FAM1_ST1_200 m	1,45 ± 0,20	418 ± 57
FAM1_ST1_400 m	1,15 ± 0,19	331 ± 56
FAM1_ST2_100 m	2,22 ± 0,20	728 ± 66
FAM1_ST2_200 m	2,08 ± 0,20	685 ± 66
FAM1_ST2_400 m	2,21 ± 0,20	725 ± 66
FAM1_ST3_100 m	2,37 ± 0,24	717 ± 73
FAM1_ST3_200 m	1,87 ± 0,20	565 ± 61
FAM1_ST3_400 m	2,35 ± 0,21	713 ± 64
FAM1_ST4_100 m	5,80 ± 0,24	838 ± 35
FAM1_ST4_200 m	7,28 ± 0,27	1053 ± 39
FAM1_ST4_400 m	6,23 ± 0,25	901 ± 36
FAM1_ST5_100 m	2,42 ± 0,19	690 ± 54
FAM1_ST5_200 m	2,70 ± 0,20	770 ± 56
FAM1_ST5_400 m	2,46 ± 0,19	701 ± 55
FAM2_ST1_100 m	3,09 ± 0,18	851 ± 51
FAM2_ST1_200 m	1,13 ± 0,20	312 ± 54
FAM2_ST1_400 m	1,65 ± 0,19	455 ± 52
FAM2_ST2_100 m	1,58 ± 0,19	435 ± 54
FAM2_ST2_200 m	3,24 ± 0,22	892 ± 62
FAM2_ST2_400 m	3,11 ± 0,21	857 ± 59
FAM2_ST3_100 m	0,35 ± 0,18	97 ± 49
FAM2_ST3_200 m	0,64 ± 0,19	177 ± 51
FAM2_ST3_400 m	1,74 ± 0,19	479 ± 53
FAM2_ST4_100 m	0,39 ± 0,17	106 ± 48
FAM2_ST4_200 m	0,41 ± 0,19	114 ± 53
FAM2_ST4_400 m	0,53 ± 0,18	147 ± 50
FAM2_ST6_100 m	0,95 ± 0,19	262 ± 52
FAM2_ST6_200 m	1,26 ± 0,19	346 ± 52
FAM2_ST6_400 m	1,00 ± 0,20	276 ± 54
FAM2_ST8_100 m	1,01 ± 0,17	277 ± 48
FAM2_ST8_200 m	1,41 ± 0,19	387 ± 53
FAM2_ST8_400 m	0,59 ± 0,18	163 ± 49