



Institut
de Ciències
del Mar



Avaluació dels canvis de ritme de sedimentació en el canyó submarí d'Arenys a partir del Pb-210

Projecte final de carrera – Llicenciatura de Ciències Ambientals
(2012 – 2013)

Miguel Toro Arias



Director:

Dr. Pere Masqué Barri (UAB)

Co-directors:

Dr. Pere Puig Alenyà i Dr. Jacobo Martín de Nascimento (ICM, CSIC)

Índex

<i>Índex de figures</i>	I
<i>Índex de taules</i>	I
<i>Agraïments</i>	II
1. Introducció	5
1.1. Introducció general	5
1.2. La pesca d'arrossegament i els seus efectes	5
1.3. Els canyons submarins	7
1.4. L'exemple del canyó de La Fonera (Palamós)	7
1.5. El Pb-210 com a eina per a determinar el ritmes de sedimentació	8
2. Objectius	9
3. Metodologia	10
3.1. Àmbit d'estudi	10
3.2. Treball de camp (mostreig)	11
3.3. Anàlisi de laboratori	12
3.3.1. Pretractament de les mostres	12
3.3.2. Anàlisi granulomètrica	12
3.3.3. Determinació del Pb-210	12
- Materials	12
- Reactius	12
- Procediment analític	13
3.4. Models de datació amb Pb-210	14
3.4.1. Paràmetres dels models	14
3.4.2. Model CF:CS (Constant Flux:Constant Sedimentation)	15
3.4.3. Model CRS (Constant Rate Supply)	15

4. Resultats i discussió	16
4.1. Granulometries i densitats	16
4.2. Pb-210	17
4.3. Evolució de la flota pesquera del port d'Arenys de Mar	23
5. Conclusions	26
6. Pressupost	27
Bibliografia	28
Annex	30

Índex de figures

Figura 1. Esquema d'un art d'arrossegament	6
Figura 2. Cicle del Pb-210 en ecosistemes aquàtics	8
Figura 3. Mapa batimètric de la zona d'estudi amb les posicions dels punts de mostreig i de l'activitat de la flota d'arrossegadors del port d'Arenys de Mar	10
Figura 4.A. Multicorerer KC utilitzat per prendre les mostres	11
Figura 4.B. Seccionament del testimoni de sediment mostrejat amb ajuda d'un extrusor i espàtula	11
Figura 5. Granulometries i densitats dels sediments mostrejats	16
Figura 6. Perfils verticals de concentració total de Pb-210	17
Figura 7.A. Ritme de sedimentació del testimoni d'Arenys I	19
Figura 7.B. Ritme de sedimentació de la part superior del testimoni Arenys I	19
Figura 7.C. Ritme de sedimentació de la part inferior del testimoni Arenys I	19
Figura 8. Ritme de sedimentació del testimoni d'Arenys II	20
Figura 9. Ritme de sedimentació del testimoni d'Arenys III	20
Figura 10. Ritmes de sedimentació dels testimonis Arenys I, II i III del model CRS	22
Figura 11. Evolució de la flota pesquera del port d'Arenys de Mar	23
Figura 12. Comparació de l'evolució de la flota d'arrossegadors del port d'Arenys de Mar i el ritme de sedimentació a Arenys I	24

Índex de taules

Taula 1. Dades de les estacions de mostreig dels sediments	11
Taula 2. Dades analítiques dels sediments mostrejats	18

Agraïments

En primer lloc voldria agrair al Pere Masqué l'oportunitat d'haver-me ofert la possibilitat de realitzar aquest treball, sense deixar de banda al Pere Puig i al Jacobo Martín.

Agrair al Pere Masqué el seu temps de dedicació, la seva paciència i els seus coneixements, però sobretot els seus ànims en moments complicats. També al Pere Puig sempre disposat a donar un cop de mà, intentant treure sempre el màxim de mi. Al Jacobo Martín, també per la seva paciència i dedicació, oferint-me sempre els recursos i els coneixements necessaris per tirar endavant aquest projecte.

Gràcies al Joan Manel, per la seva paciència en tot moment amb mi, on el seu treball ha estat indispensable. Gràcies.

Gràcies a la Sílvia i a la Neus, ajuda també indispensable en les pesades jornades de molturació.

Gràcies al Laboratori de Radioactivitat Ambiental que en un moment o d'altre heu estat donant un cop de mà.

Com no, gràcies a la meva família pel seu interès constant en la realització del projecte. I com no, gràcies a la meva parella, Cíntia, gràcies per haver-me aguantat, suportat i per animar-me sempre en tot moment. Sense tu no hauria estat el mateix.

Gràcies a tots, gràcies.

1. INTRODUCCIÓ

*"Una sola pasada de una red de arrastre
puede aplastar siglos de crecimiento."*

Watling y Norse, 1998

1.1. Introducció general

Les activitats humanes, directament o indirecta, són una de les principals causes dels canvis en la biodiversitat marina. Els criteris significatius per a reconèixer els tipus de pertorbacions més importants com a fonts de canvis en la biodiversitat inclouen: la seva ubicació, la seva duració i magnitud i el seu grau de reversibilitat. Els cinc agents rellevants de canvis en la biodiversitat marina són: contaminació química i eutrofització, alteració de l'hàbitat físic, invasió d'espècies exòtiques, canvi climàtic global i activitats pesqueres. Aquestes pertorbacions humanes poden conduir a canvis que van des dels genètics en les poblacions, alteració en els fluxos energètics i alteracions en l'estructura i funció dels ecosistemes (Northridge, 1991).

1.2. La pesca d'arrossegament i els seus efectes

La pesca d'arrossegament és una tècnica de pesca no selectiva per la qual es llancen xarxes i d'altres aparells al llarg del fons del mar per a la captura de peixos i altres recursos vius (Fig. 1). A més de l'impacte directe d'aquesta tècnica sobre poblacions de peixos i comunitats bentòniques, la pesca d'arrossegament també pot modificar les propietats físiques dels sediments del fons marí, els intercanvis químics aigua-sediments i els fluxos de sediments (Jones, 1992; Puig et al., 2012).

Des dels anys 70 la pesca d'arrossegament s'ha realitzat a profunditats creixents degut a l'esgotament dels caladors tradicionals i a les millores tècniques. L'impacte d'aquesta activitat a profunditats de talús és més important degut a la disminució dels processos naturals de resuspensió i transport prevalent al domini costaner i de plataforma.

Els impactes de la pesca d'arrossegament per sobre de la ruptura de la plataforma (≈ 200 m) són relativament menors que en el mar profund (>200 m). Això és degut a que, per sobre dels 200 m, els processos naturals que poden resuspendre els sediments, com les tempestes, les marees, l'onatge, etc., són més freqüents i intensos que no pas en el mar profund, on aquest processos naturals són menys energètics, més localitzats i amb majors períodes de retorn.

Les arts de pesca d'arrossegament afecten al medi ambient, tant de forma directa com indirecta. Els efectes directes inclouen l'arada i el raspat del fons marí i la destrucció del bentos, és a dir, provoquen canvis en la morfologia física i biològica del fons i la resuspensió de sediments. Els efectes indirectes inclouen la mortalitat post-pesca i, a llarg termini, canvis en l'estructura de la comunitat del bentos. Tot i així, aquests efectes estan directament relacionats amb: la profunditat a la que es pesca, el pes i

dimensions de l'art de pesca, el cavallatge o potència de l'embarcació i el tonatge d'aquesta, la naturalesa dels sediments del fons i la força de les corrents i mareas, provocant diferents efectes depenent d'aquestes variables enumerades (Jones, 1992).

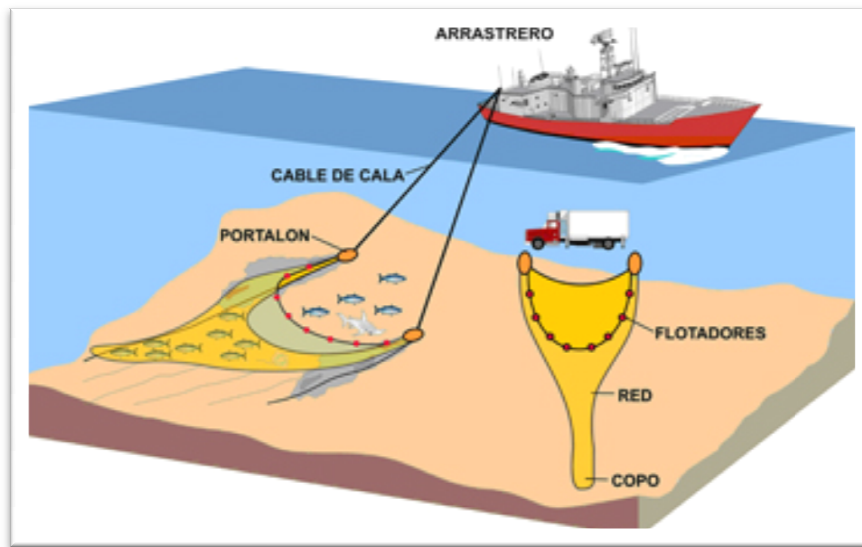


Figura 1. Esquema d'un art d'arrossegament (Font: Oceana.org)

Diverses pesqueries d'arrossegament són actives en el Mediterrani. En el mar Català en particular, la que més atenció ens mereix, per la seva intensitat i extensió i per la gran profunditat que assoleix, és la pesqueria de la gamba rosada *Aristeus antennatus*. Aquest és un recurs pesquer de gran importància econòmica per a moltes poblacions de la costa catalana, i la seva pesca es porta a terme amb pesades arts d'arrossegament a profunditats d'entre 400 metres i fins almenys 800 metres. Gran part d'aquesta pesqueria té lloc en les capçaleres i vessants dels canyons submarins incidits al marge continental Català (Company et al. 2012).

1.3. Els canyons submarins

Els canyons submarins són valls submarines amb vessants abruptes generalment incidides en la part externa de la plataforma i talús continental. Alguns, fins i tot, poden incidir quasi en la seva totalitat el marge continental, i les seves capçaleres arribar a prop de la costa.

Aquests canyons es formen, normalment, per erosió remuntant en el si de les valls, a causa de les esllavissades i corrents de terbolesa que es produeixen en els fons marins. Els canyons interrompen el perfil de la plataforma continental generalment caracteritzada per pendents suaus, i constitueixen llocs on l'acumulació i/o el transport de sediments està afavorit. Els canyons més incidits compleixen un important paper canalitzador de sediments i matèria orgànica procedent de la superfície terrestre cap a la plana abissal. Tot i que aquesta capacitat de canalització de sediments fou més important en períodes de baix nivell del mar, durant períodes de nivell del mar alt, com en l'actualitat, alguns canyons submarins poden mantenir-se actius com a conductes per a la transferència de matèria cap a regions més profundes (Puig i Palanques, 1998; Martín et al., 2006).

Els canyons submarins són de gran interès en el context dels impactes de l'arrossegament profund, perquè és freqüent que aquesta activitat de pesca es dugui a terme a prop d'ells. A més, les fortes pendents que els caracteritzen poden facilitar la propagació dels impactes de la pesca d'arrossegament sobre els sediments marins i provocar la generació de corrents de terbolesa (Palanques et al., 2006; Puig et al., 2012).

1.4. L'exemple del canyó de La Fonera (Palamós)

Una de les flotes d'arrossegament especialment dedicada a la pesca de gamba rosada és la del port de Palamós, que explota els flancs del canyó de La Fonera (o de Palamós) des de fa més de 70 anys (Tobar i Sardà, 1987). Estudis previs en aquest canyó han mostrat que la resuspensió del sediment del fons marí pel pas de les arts d'arrossegament a llarg del flanc del canyó, produeix corrents de terbolesa de forma periòdica (Palanques et al., 2006) que arriben fins a l'eix del canyó i que han ocasionat canvis en el ritme de sedimentació (Martín et al., 2008). Amb el pas del temps, aquesta pràctica ha produït, fins i tot, canvis patents en la morfologia de la part superior del talús continental, on es produeix la major activitat de pesca d'arrossegament (Puig et al., 2012).

Donada l'extensió geogràfica de la pesca d'arrossegament als talussos continentals del marge Català, es planteja que els canvis de ritme de sedimentació observats al canyó de La Fonera podrien tenir una dimensió més global i afectar altres zones, en particular els sediments de l'interior d'altres canyons submarins.

1.5. El Pb-210 com a eina per a determinar els ritmes de sedimentació

Per dur a terme l'estudi dels canvis de ritme de sedimentació, s'ha utilitzat la densitat aparent del sediment (funció de la composició i el grau de compactació), la granulometria i s'han determinat els ritmes d'acumulació d'aquests sediments en els darrers 100-150 anys utilitzant el Pb-210.

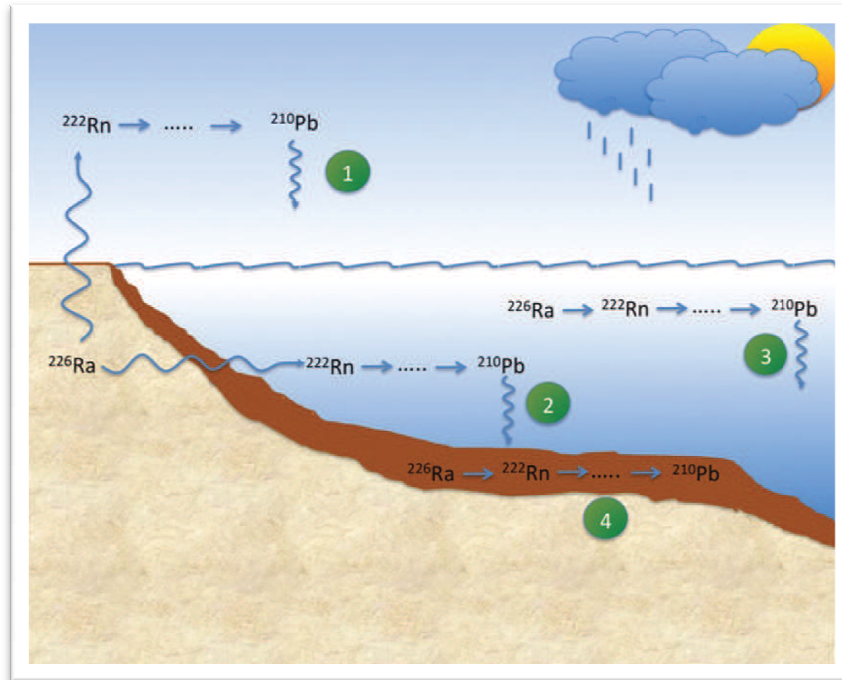


Figura 2. Cicle del Pb-210 en ecosistemes aquàtics. 1) El Rn-222 s'exhala del sòl incorporant-se a l'atmosfera, on es desintegra en Pb-210, que es diposita a la superfície, bàsicament amb la precipitació. 2) El Rn-222 s'exhala dels sediments marins incorporant-se a la columna d'aigua on es desintegra en Pb-210, que sedimenta arrossegat per les partícules. 3) El Ra-226 dissolt en la columna d'aigua es desintegra en Rn-222 i aquest en Pb-210, que sedimenta arrossegat per les partícules. 4) El Ra-226 contingut en el sediment es desintegra en Pb-210 (Pb-210 de base). (Font: Radiocronologia de sedimentos costeros utilizando Pb-210: modelos, validación y aplicaciones. Capítol 2 . Jordi García-Orellana)

El radionúclid Pb-210 ($T_{1/2}=22.3$ anys) pertany a la cadena de desintegració natural de l'U-238. El Pb-210 es produeix contínuament a l'atmosfera a través de la desintegració del gas Rn-222, el qual ha estat exhalat de l'escorça terrestre després de la desintegració del Ra-226 ($T_{1/2}=1600$ anys). També es produeix a la columna d'aigua a través de la desintegració radioactiva del Ra-226 dissolt en l'aigua de mar.

Degut a la seva afinitat per les partícules, el Pb-210 s'elimina de la columna d'aigua per sedimentació i tendeix a acumular-se al fons del mar. Amb un període de semidesintegració de 22.3 anys, el Pb-210 és, per tant, un radiotraçador idoni per estudis de sedimentació a una escala temporal d'uns 100-150 anys (Appleby and Olfield, 1978).

2. Objectius

L'objectiu principal del projecte serà la quantificació de les taxes d'acumulació de sediments marins a partir de l'ús del radionúclid natural Pb-210, per tal d'estudiar els canvis provocats pels processos de resuspensió derivats de les activitats de pesca d'arrossegament. El treball s'ha dut a terme estudiant 3 testimonis de sediment obtinguts al llarg de l'eix del canyó submarí d'Arenys a diferents profunditats entre 1070 i 1630 metres (Fig. 3).

Datant aquests sediments podrem avaluar l'impacte que ha tingut la pesca d'arrossegament en els ritmes de sedimentació d'aquest canyó submarí. Estudiarem com la industrialització d'aquest tipus de pesca, amb els canvis en la maquinària utilitzada i els canvis en la potència dels motors del vaixells poden haver produït alteracions en la resuspensió i sedimentació de les partícules del fons marí en les zones on es duu a terme aquesta activitat.

3. Metodologia

3.1. Àmbit d'estudi

El canyó d'Arenys (Fig. 3) té a la seva capçalera 3 tributaris, amb perfil transversal en "V", que conflueixen a profunditats de 800 metres en el canyó principal; presenta un perfil de fons pla de gran amplitud i una pendent mitjana de 3°. La capçalera del canyó es localitza en la part superior del talús continental, a 200-400 metres de profunditat. Està fortament encaixat en formacions Plioquaternàries i s'atribueix el seu començament de formació en el Quaternari (ITGE, 1989).

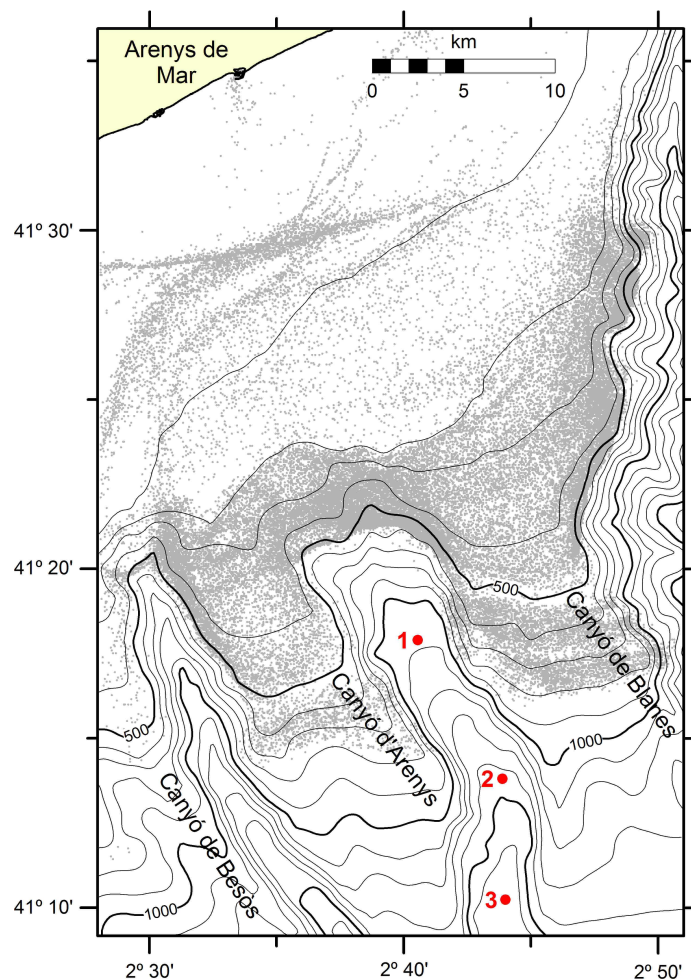


Figura 3. Mapa batimètric de la zona d'estudi amb les posicions dels punts de mostreig i de l'activitat de la flota d'arrossegadors del port d'Arenys de Mar. En el mapa podem observar, en punts vermells, la posició dels tres testis (Arenys I (1), II (2) i III (3)). També tenim representades, amb punts grisos, les posicions del sistema de seguiment de la flota pesquera (Vessel Monitoring System, VMS), anomenades popularment "caixes blaves", de la flota d'arrossegadors del port d'Arenys de Mar d'embarcacions de més de 400 cavalls de potència, entre els anys 2007 i 2010. A més densitat de punts, més presència d'arrossegadors i per tant més impacte sobre el sediment.

Com es pot observar en la Figura 3, on hem superposat les posicions dels vaixells pesquers sobre la batimetria, la pesca d'arrossegament en aquest canyó i els seus voltants també és activa fins a 800 metres de profunditat com en el cas del canyó de La

Fonera. La intensitat i profunditat de la pesca d'arrossegament no és homogènia espacialment. Així, al llarg dels flancs del canyó i el talús adjacent, la pesca es produeix amb una considerable intensitat, principalment en el flanc est i a la capçalera del canyó, on les activitats d'arrossegament es focalitzen en els 500-550 metres de profunditat, on la intensitat d'arrossegament (quantitat i freqüència dels arrossegadors) és màxima.

3.2. Treball de camp (mostreig)

El mostreig es va realitzar durant la campanya HERMIONE-III a bord del vaixell Oceanogràfic García del Cid els dies 28-29 de Juliol de 2012 (Taula 1).

Estació	Data	Latitud	Longitud	Profunditat (m)
ARENYS-I	28/07/2012	41° 17.90' N	2° 40.55' E	1074
ARENYS-II	29/07/2012	41° 13.81' N	2° 43.88' E	1410
ARENYS-III	29/07/2012	41° 10.24' N	2° 44.00' E	1632

Taula 1. Dades de les estacions de mostreig de sediments durant la campanya HERMIONE III.

Els 3 testimonis de sediments van ser obtinguts mitjançant un multicorer KC (Fig. 4A), equipat amb 6 tubs de 9.4 cm de diàmetre intern cadascun. En cada operació de mostreig es va seleccionar un tub en que la interfase aigua-sediment estigués ben preservada, és a dir, absència de mescla o resuspensió provocada pel mostreig. Aquests sediments es van tallar al vaixell en seccions d'1 cm amb l'ajuda d'un extrusor (Fig. 4B). Aquestes seccions van ser guardades en bosses de plàstic i emmagatzemades en una cambra frigorífica per a la seva bona conservació fins a ser analitzades al laboratori.

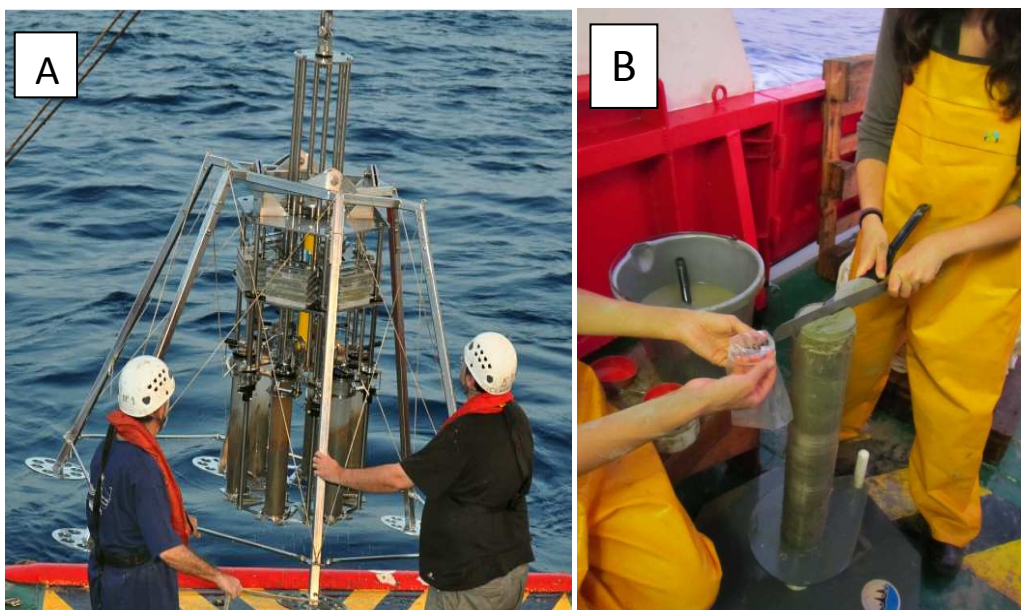


Figura 4.A. Multicorer KC utilitzat per prendre les mostres; **B.** Seccionament de la columna del testimoni de sediments mostrejat amb l'ajuda d'un extrusor i una espàtula.

3.3. Anàlisis de laboratori

3.3.1. Pretractament de les mostres

El pretractament de les mostres es va realitzar a l' Institut de Ciències del Mar-CSIC.

Les mostres van ser pesades i posteriorment liofilitzades mitjançant el liofilitzador Lyoalfa 15 -85°C, que usa cambres de buit per tal de separar l'aigua del sediment per sublimació. Un cop seques, es van tornar a pesar per tal d'obtenir el contingut d'aigua de cada secció.

Un cop liofilitzades i pesades, una fracció de cada mostra va ser homogeneïtzada i molturada amb un morter d'àgata per a ser utilitzada posteriorment per a l'anàlisi del Pb-210.

3.3.2. Anàlisi granulomètrica

Per a l'anàlisi granulomètrica es van prendre 1-1.5 g de mostra de sediment liofilitzada i es va tractar amb H₂O₂ 20% durant 10 dies per eliminar la matèria orgànica, per posteriorment afegir una solució de pirofosfat sòdic al 0.1% per a dispersar la mostra. L'anàlisi de la mida del gra es va realitzar per difracció làser, però donat que l'analitzador detecta partícules en el rang de 0.01 – 3000 µm, les mostres es van tamisar prèviament amb un tamís de 2000 µm, incorporant el percentatge de grava a la mostra un cop realitzada la difractometria.

La classificació de les mides dels grans és: argiles (< 4 µm), llims (4-63 µm), sorres (63-2000 µm), grava (>2000 µm).

3.3.3. Determinació del Pb-210

- **Materials:** Balança i espàtules, tubs de digestió (*liners*) i microones (digestor), plaques calefactores/agitadores, vas de tefló, vas de precipitats (*beakers*), imants, vidres de rellotge, fil de niló i discs de plata (lacats per una cara)

- **Reactius:** HNO₃ 65%, HF, Sol. 5 (traçador intern Po-209), H₃BO₃ (Àcid bòric), HCl 1M, HCl 37% i C₆H₈O₆ (Àcid ascòrbic).

- **Procediment analític:**

Les activitats del Pb-210 es van determinar per espectrometria α, mesurant l'activitat del Po-210, ajudat per un traçador, el Po-209, ja que el Pb-210 no emet alfa, i es per això que es mesura la seva activitat indirectament a partir del Po-210.

El mètode per a l'anàlisi del Po-210 consisteix en la dissolució total de la mostra, un preacondicionament i l'autodeposició del Po-210 en discs de plata per poder ser mesurats (Sánchez-Cabeza et al. 1998). El mètode garanteix una digestió completa de la mostra i una recuperació química superior al 90%.

Es van pesar entre 150 i 250 mg d'alíquota de cada mostra als tubs digestius de tefló (*liners*), es van dissoldre amb 9 ml HNO₃ 65% i 3mL HF. A més es va afegir una quantitat coneguda de Po-209 (Sol. 5) a cada tub (90 ml, amb una activitat de 0.623 ± 0.017 Bq/g a dia 4 de novembre de 2009) com a traçador intern per tal de poder avaluar les pèrdues de Po en el procés analític i així determinar la recuperació del procés radioquímic. Seguidament, es van digerir per microones a alta pressió i temperatura.

Un cop feta la primera digestió, es van afegir 15 ml H₃BO₃ i es van tornar a posar a digestió els *liners* per tal de dissoldre els compostos de fluor.

Després de la segona digestió, les mostres van ser transvasades a vasos de tefló. Aquí es va procedir a la seva evaporació total. Un cop evaporat, es va fer una altra digestió afegint 1 ml, aproximadament, d' HCl al 37%, evaporant totalment de nou (procés repetit tres vegades). Seguidament es van afegir uns 100 ml d' HCl 1M a cada vas de tefló. Ajudat de temperatura i agitació es va homogeneïtzar tota la mostra. El contingut d'aquests vasos de tefló es va transvasar a vasos de precipitats de vidre (*beakers*), fent tres neteges als gots de tefló amb HCl 1M per tal de recuperar el màxim de mostra.

Els vasos de precipitats es van cobrir amb vidres de rellotge, afegint si era necessari una punta d'àcid ascòrbic (C₆H₈O₆) per a complexar el Fe, el qual podia interferir en la qualitat de la posterior deposició. Es va afegir àcid ascòrbic fins a observar transparència de la mostra.

Seguidament es va procedir a la auto-deposició del Po als discs de plata. Aquests discs van ser prèviament lacats per una cara, fent que els isòtops de Po es fixessin només a la cara no lacada del disc i millorant així les estadístiques de recompte de les mostres, ja que el detector alfa només és capaç de mesurar una cara del disc alhora. Els discs de plata es van introduir a les diferents mostres (degudament lligats amb fil de niló per tal de recuperar-los posteriorment) quedant totalment submergits, i es van deixar a una temperatura d'uns 70-80°C i amb agitació, per afavorir la deposició, durant aproximadament 6-8 hores.

Després d'aquest temps, els discs es van deixar assecar a l'aire lliure. Un cop secs, es van col·locar en sobres individuals per tal de ser comptats.

Els isòtops de Po van ser mesurats utilitzant espectròmetres alfa PIPS (*Passivated Implanted Planar Silicon*) (CANBERRA, model PD-450.18 A.M) i *Silicon Surface Barrier* (EG&G Ortec, model SSB 450R). Aquests detectors es caracteritzen per tenir una excel·lent resolució energètica, un baix fons, una estabilitat excel·lent i una sensibilitat baixa a la radiació gamma. Els discs van ser comptats fins a obtenir menys d'un 5% d'incertesa en la taxa de recompte del Po-210 o fins a un màxim de 400000 segons.

3.4. Models de datació amb Pb-210

La datació per Pb-210 es basa en la modelització de l'acumulació de Pb-210 en excés en dipòsits naturals per tal de trobar una metodologia que permeti establir cronologies amb una resolució temporal d'alguns anys (Goldberg, 1963, Appleby i Oldfield, 1992).

Els factors que intervenen en l'aplicació dels models i que influeixen en el flux de Pb-210 en excés són: Canvis en el ritme de sedimentació, aport postdeposicional a causa de l'erosió d'altres zones, compactació, barreja física, química i biològica i l'activitat antròpica a la zona (Appleby, 2001).

3.4.1. Paràmetres dels models

- Pb-210 de base: és el Pb-210 que es forma in situ com a producte de la desintegració del Rn-222 que no ha exhalat del sòl o del sediment. Per tal de quantificar-lo es mesura el Ra-226 en cada secció del perfil sedimentari.
- Pb-210 en excés: és el Pb-210 que prové de la desintegració radioactiva del gas Rn-222 exhalat i que posteriorment es diposita. Restant l'activitat del Ra-226 (equival al Pb-210 de base) a la concentració de Pb-210 total mesurada en les mostres de sediments, s'obté l'activitat de Pb-210 en excés.
- Flux atmosfèric de Pb-210 (F): és l'activitat de Pb-210 en excés per unitat de superfície i temps que s'incorpora als sistemes naturals provinents de l'atmosfera, i s'expressa en $\text{Bq/m}^2/\text{a}$.
- Inventari de Pb-210 en excés: fins a un determinat nivell és l'activitat de Pb-210 en excés per unitat d'àrea integrada des de la superfície del sediment fins al nivell escollit, expressat en Bq/m^2 .
- Ritme d'acumulació de sediment: s'expressa com $r = m/t$, on m és l'espessor màssic de la secció sedimentària que ha trigat un temps t a acumular-se.

3.4.2. Model CF:CS (Constant Flux:Constant Sedimentation)

El model es basa en la hipòtesi que hi ha un flux de sediment constant i que el flux de Pb-210 en excés incorporat en el sediment (F) també és constant. Per tant, si el grau d'acumulació de Pb-210 és constant, l'activitat de Pb-210 inicial serà la mateixa per a totes les capes del testimoni.

$$C_0 = C(0)$$

On $C(0)$ és l'activitat de Pb-210 (Bq/kg) en la capa més superficial.

La C en cada capa després d'un temps t ve donada per l'equació següent:

$$C = C_0 e^{-\lambda \frac{m}{r}}$$

On r representa la velocitat de sedimentació de massa seca ($\text{g/cm}^2/\text{a}$) i m és la massa seca acumulada per unitat d'àrea fins la capa considerada.

Si es compleixen les hipòtesis anteriors, la corba de concentració de Pb-210 en excés en funció de la massa acumulada en una escala logarítmica és una recta pendent $-\lambda/r$. Per tant, el flux de massa promig es pot determinar amb un ajust de mínims quadrats.

3.4.3. Model CRS (Constant Rate of Supply)

Aquest model fou proposat per Appleby & Olfield l'any 1978 i suposa que el flux de Pb-210 en excés que arriba al sediment és constant, independentment del ritme de sedimentació. Per tant, l'activitat C de Pb-210 en excés varia de forma inversament proporcional al ritme d'acumulació de sediment.

Llavors, l'inventari $A(m)$ de Pb-210 en excés per sota d'una profunditat x i edat t és:

$$A(m) = \int_m^\infty C dm = \int_x^\infty \rho C dx$$

on m és la massa seca acumulada per sota de la fondària x i ρ la densitat del material.

De l'equació anterior es dedueix que l'edat t d'una capa de sediment a una fondària x ve determinada per:

$$A(m) = A_\infty \cdot e^{-\lambda t}$$

El model estableix que el ritme de sedimentació r a cada moment s'obté d'aplicar l'equació

$$r = \frac{\lambda \cdot A}{C}$$

i el flux de Pb-210 en excés F al sediment es dedueix d'aplicar l'expressió

$$F = \lambda \cdot A$$

4. Resultats i discussió

Els resultats obtinguts de les diferents anàlisis s'il·lustren en les següents figures: granulometries (Fig. 5), activitats del Pb-210 (Fig. 6), ritmes de sedimentació (Figs. 7. A, B i C, 8, 9 i 10) i l'evolució de la flota pesquera del Port d'Arenys (Fig. 11).

4.1. Granulometries i densitat

En el testimoni menys profund (1074 m), Arenys I, els promitjos de percentatges de la seva composició és: 0.06% de grava, 1.4% de sorres, 73% de llims i 26% d'argiles. En el testimoni intermig (1410 m), Arenys II, és de: 0% grava, 0.7% sorres, 76% llims i 23% argiles. I en el testimoni més profund (1632 m), Arenys III, el percentatge és de: 0% grava, 1.4% sorres, 72% llims i 26% argiles. (Fig. 5)

Podem observar que tenen poques diferències entre ells, la textura és similar en tots tres testimonis. La presència de grava és pràcticament inapreciable al testimoni Arenys I, on només trobem un 1% a la secció 37-38 i un 1.5% a la secció 46-47. Als testimonis Arenys II i III no tenim presència de grava. Els sediments són fangosos (llims+argila), amb poca presència de sorra. En tot cas, als primers 3 centímetres tenim més presència de llims.

Pel que fa a la densitat, veiem que augmenta amb la profunditat, ja que quan arriba el material a la superfície aquest conté més aigua que no pas als estrats inferiors, i conforme augmenta la profunditat el material es compacta, és a dir, disminueix el volums de porus i amb això l'aigua intersticial i per tant, la densitat és més gran.

En els tres testimonis la tendència és similar, partint d'uns valors que van des dels 0.4 g/cm³ fins als 1.1 g/cm³ en Arenys I i 0.8 g/cm³ en Arenys II i III.

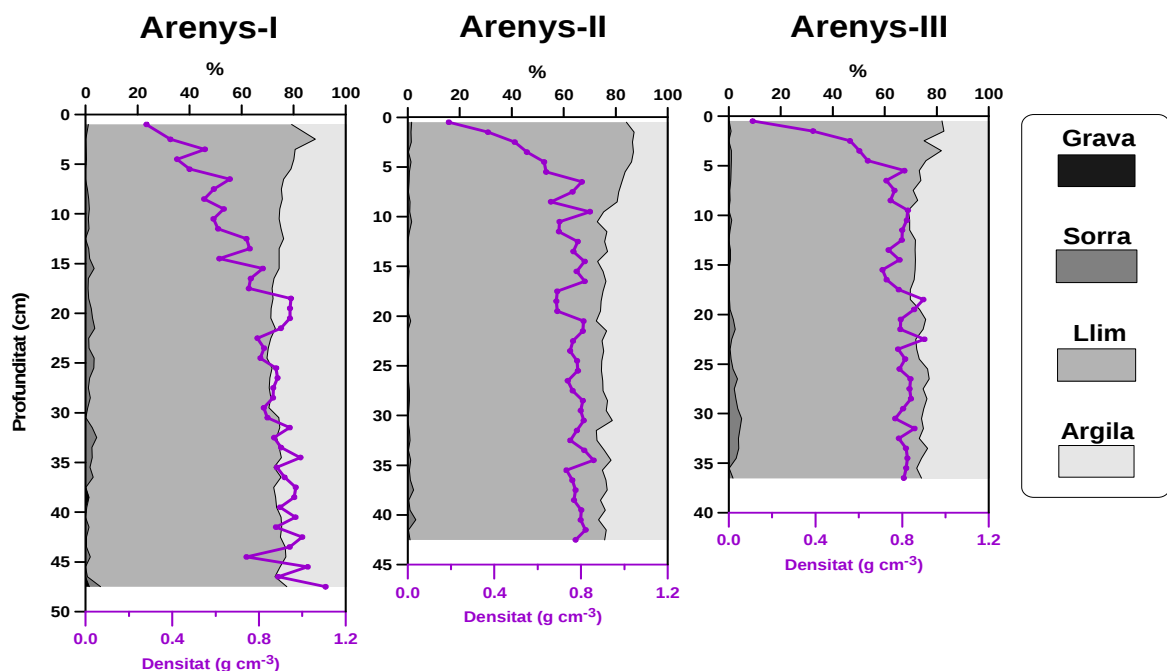


Figura 5. Perfils verticals de densitat del sediment (línia lila) i distribució granulomètrica per classes principals (àrees).

4.2. Pb-210

El Pb-210 procedeix de diverses aportacions, tant laterals com verticals, de l'atmosfera, rius, columna d'aigua i de la desintegració radioactiva del Ra-226, i degut a la seva afinitat amb la matèria en suspensió, finalment és arrossegat i sedimenta en el fons marí. A més, en zones de costa, la sedimentació és més activa que en zones profundes, i, per tant, en sediments superficials recents s'espera trobar-hi un excés de Pb-210, que és la diferencia entre el Pb-210 total i el Pb-210 de base (produït per la desintegració del Ra-226 present en els sediments).

Els perfils verticals d'activitat de Pb-210 són descrits segons tres regions bàsiques (Nittrouer et al., 1979): 1. Una capa superficial de mescla (Surface Mixed Layer), que s'estén a una distància L per sota de la interfase aigua-sediment, on els sediments estan activament mesclats per processos físics i biològics; 2. Una regió on l'activitat del Pb-210 disminueix exponencialment amb la profunditat en el sediment degut a la desintegració d'aquest radionúclid; i 3. Una regió inferior d'activitats de fons amb valors constants (en equilibri secular amb el Ra-226).

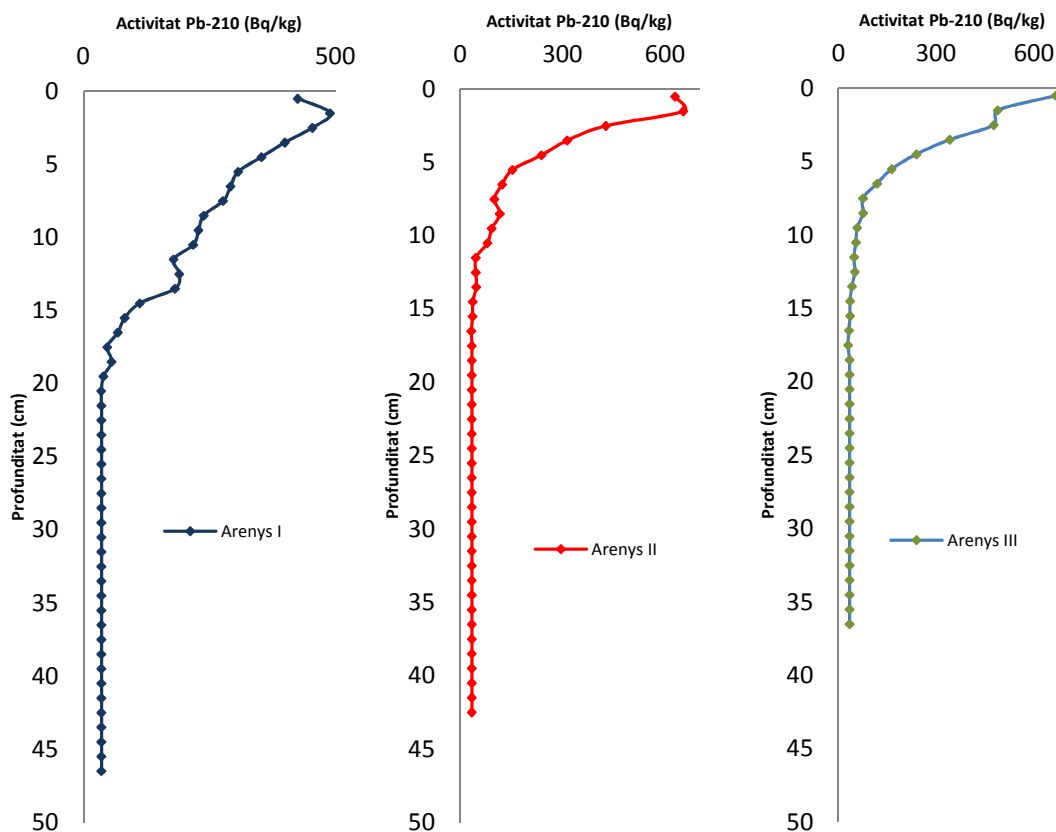


Figura 6. Perfils verticals de concentració total de Pb-210.

Les concentracions de Pb-210 en excés son elevades en els tres punts de mostreig, arribant a valors superiors a 600 Bq Kg^{-1} a la superfície. Pel testimoni Arenys I, les concentracions de Pb-210 en excés superiors a 100 Bq kg^{-1} arriben fins als 14 cm de

profunditat, en canvi, en Arenys II i III, aquestes concentracions són menys profundes, als 5-6 cm. Pel que fa al Pb-210 de base, a Arenys I s'arriba als 20 cm, a Arenys II als 15 cm i a Arenys III als 13 cm.

En tots tres podem observar una barreja (*mixing*) dels estrats superiors (0-2 cm), ja que són aquestes seccions, les més superficials, les que estan més exposades als processos naturals de bioturbació, és a dir, la barreja produïda per organismes bentònics. Com s'ha explicat al llarg del treball, tenim diferents models que ens permeten establir l'edat d'un sediment o material a partir del Pb-210 present a la mostra. Aquests models són el CF:CS i el CRS. En aquest cas, hem pogut usar tots dos models per arribar a datar les seccions dels nostres perfils sedimentaris, tot i que la discussió es basa en el model CF:CS, doncs gràficament els resultats s'expressen d'una manera més clara.

En representar les concentracions de Pb-210 en excés enfront la massa acumulada de cada secció (Figs. 7.A., 8 i 9) observem diferents situacions depenent de la zona que estiguem estudiant.

El Pb-210 de base als testimonis Arenys I, II i III és $35.4 \pm 0.6 \text{ Bq kg}^{-1}$, $34.9 \pm 1.6 \text{ Bq kg}^{-1}$ i $34 \pm 2 \text{ Bq kg}^{-1}$ respectivament (Taula 2).

Testimoni	Pb-210 de base (Bq/kg)	Horitzó (cm)	Inventari (Bq/m ²)
Arenys I	35.4 ± 0.6	20	23592 ± 254
Arenys II	33.9 ± 1.6	15	12503 ± 254
Arenys III	33.9 ± 2.4	13	11615 ± 282

Taula 2. Dades analítiques dels testimonis.

Pel que fa a Arenys I, observem que tenim dos pendents diferenciats (Fig. 7A). Pel que fa a la secció superior (0-13 cm) (Fig. 7B) observem un pendent més pronunciat que no pas a la secció inferior (13-20 cm) (Fig. 7C), on aquest és una mica més suau. Aquesta variació en el pendent ens indica l'existència de dos ritmes de sedimentació. Un cop vist això, aquestes dues seccions s'han de tractar per separat, aplicant el model CF:CS a cadascuna d'elles, ja que aquest model ens proporciona l'ajust en zones amb un sol ritme de sedimentació.

Els valors del ritme de sedimentació són: per a la secció superior de $0.190 \pm 0.009 \text{ g/cm}^2/\text{a}$ i per a la secció inferior és de $0.052 \pm 0.002 \text{ g/cm}^2/\text{a}$. Amb aquests ritmes de sedimentació observem que aquest canvi s'hauria produït al voltant dels anys 60-70, concretament entre els anys 1958 i 1970 (Annex, Taula 1).

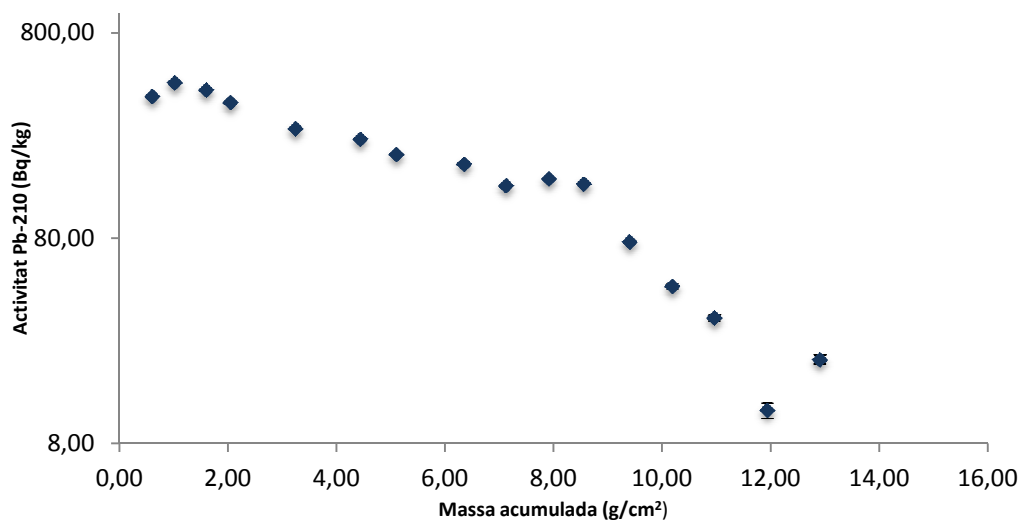


Figura 7.A. Ritme de sedimentació del testimoni d'Arenys I.

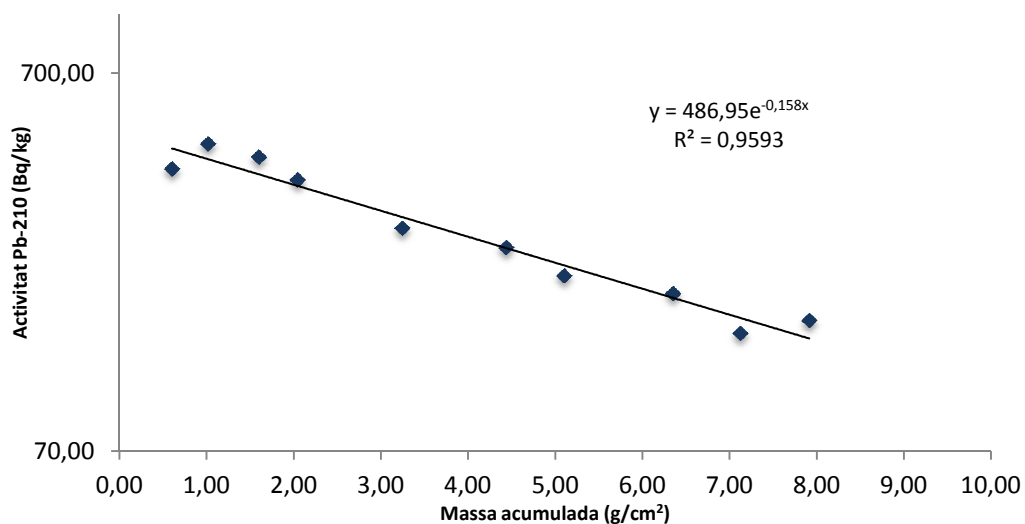


Figura 7.B. Ritme de sedimentació de la part superior (0-13 cm) del testimoni Arenys I.

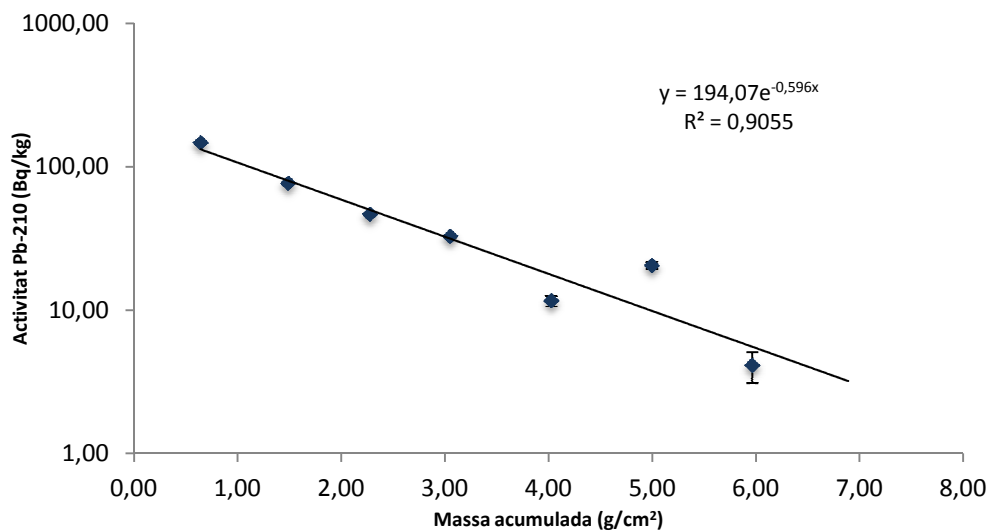


Figura 7.C. Ritme de sedimentació de la part inferior (13-20 cm) del testimoni Arenys I.

A Arenys II no observem aquest canvi en la pendent, pel que podem afirmar que en aquesta secció el ritme de sedimentació és constant per a tot el perfil, amb un valor de $0.066 \pm 0.001 \text{ g/cm}^2/\text{a}$ (Fig. 8). A Arenys III, el cas és similar, on el ritme de sedimentació també es constant per a tot el perfil amb un valor de $0.068 \pm 0.001 \text{ g/cm}^2/\text{a}$ (Fig. 9).

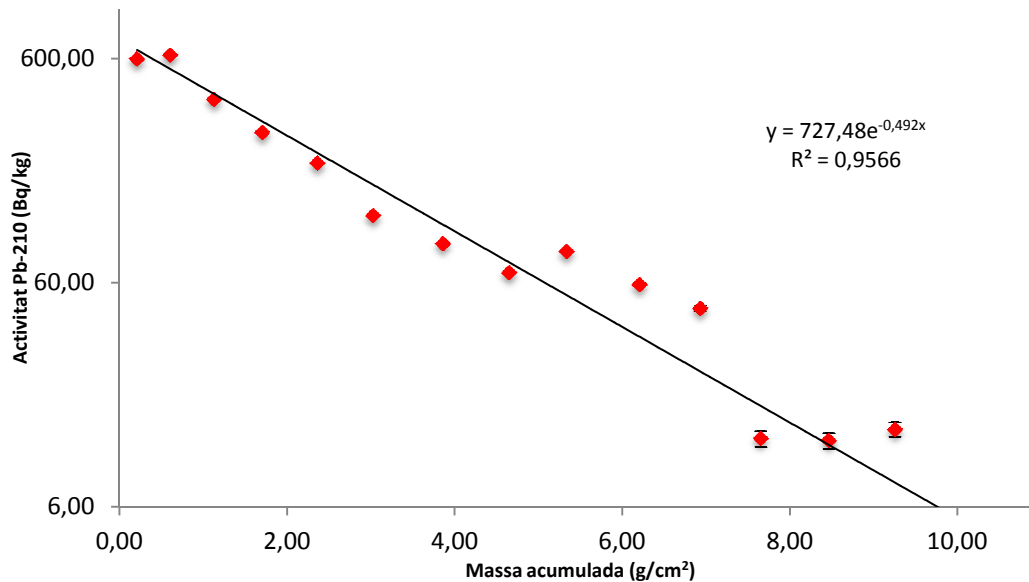


Figura 8. Ritme de sedimentació del testimoni Arenys II.

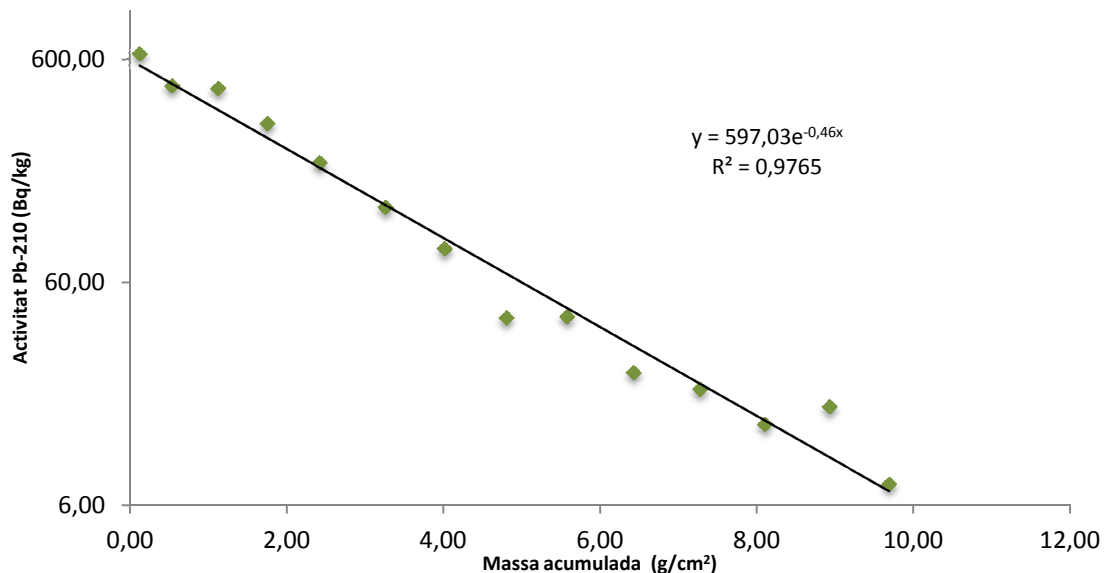


Figura 9. Ritme de sedimentació del testimoni Arenys III.

Tot i que hem basat la nostra discussió en el model CF:CS, amb el model CRS obtenim resultats compatibles. Quantitativament els valors del CRS difereixen del CF:CS, però qualitativament no, és a dir, la interpretació a la qual arribem amb els dos models és la mateixa.

Pel testimoni Arenys I observem, també, dos ritmes de sedimentació amb valors de $0.117 \pm 0.005 \text{ g/cm}^2/\text{a}$ per la secció superior (0-13 cm) i de $0.027 \pm 0.003 \text{ g/cm}^2/\text{a}$ per la secció inferior (13-20 cm). A Arenys II el ritme de sedimentació és de $0.044 \pm 0.003 \text{ g/cm}^2/\text{a}$ i a Arenys III, $0.043 \pm 0.004 \text{ g/cm}^2/\text{a}$ (Fig. 10).

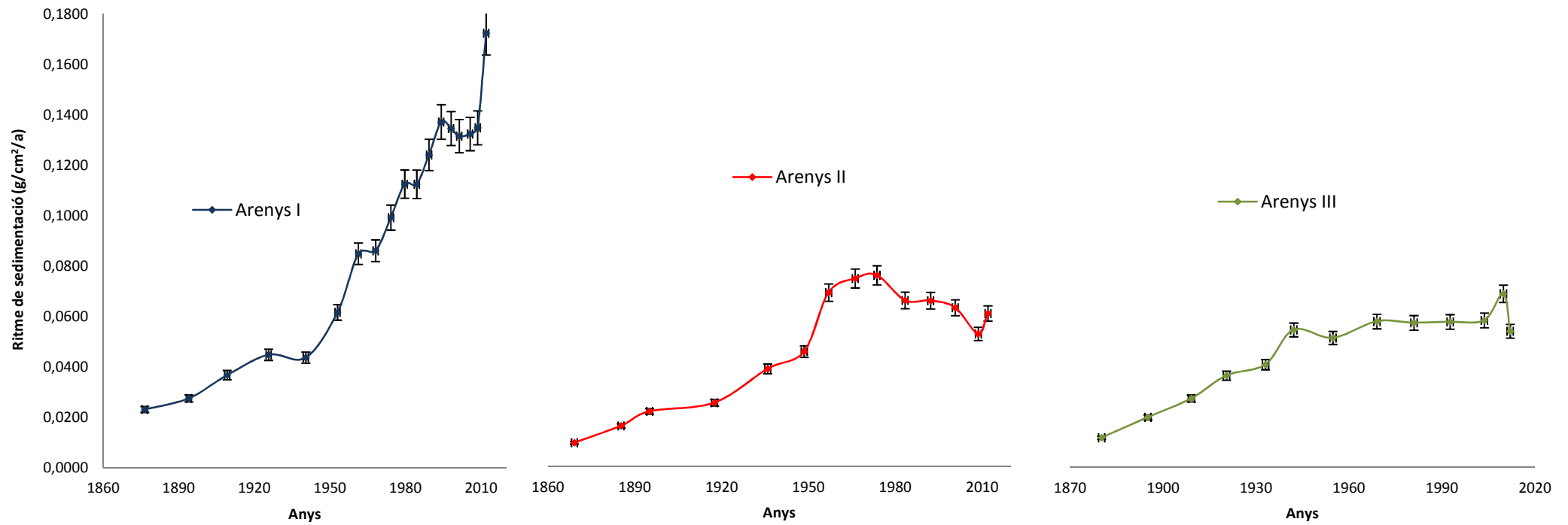


Figura 10. Ritmes de sedimentació dels testimonis Arenys I, II i III del model CRS.

4.3. Evolució de la flota pesquera del port d'Arenys de Mar

L'objectiu del nostre treball és avaluar com afecta la pesca d'arrossegament als fluxos sedimentològics en el canyó d'Arenys. Per a fer-ho necessitem dades de l'evolució de la flota pesquera en el port d'Arenys en els últims 70-80 anys. L'evolució de la flota pesquera la representarem en funció de la potència i del tonatge dels vaixells usant dades de Estadísticas Pesqueras, Anuarios de flota, Flota pesquera Española, Anuarios de pesca marítima y del Cens de Flota Pesquera Operativa.

En aquesta evolució (Fig. 11) observem com l'augment tant de la potència dels vaixells com del tonatge d'aquests es dona al finals dels anys 60 i durant la dècada dels 70.

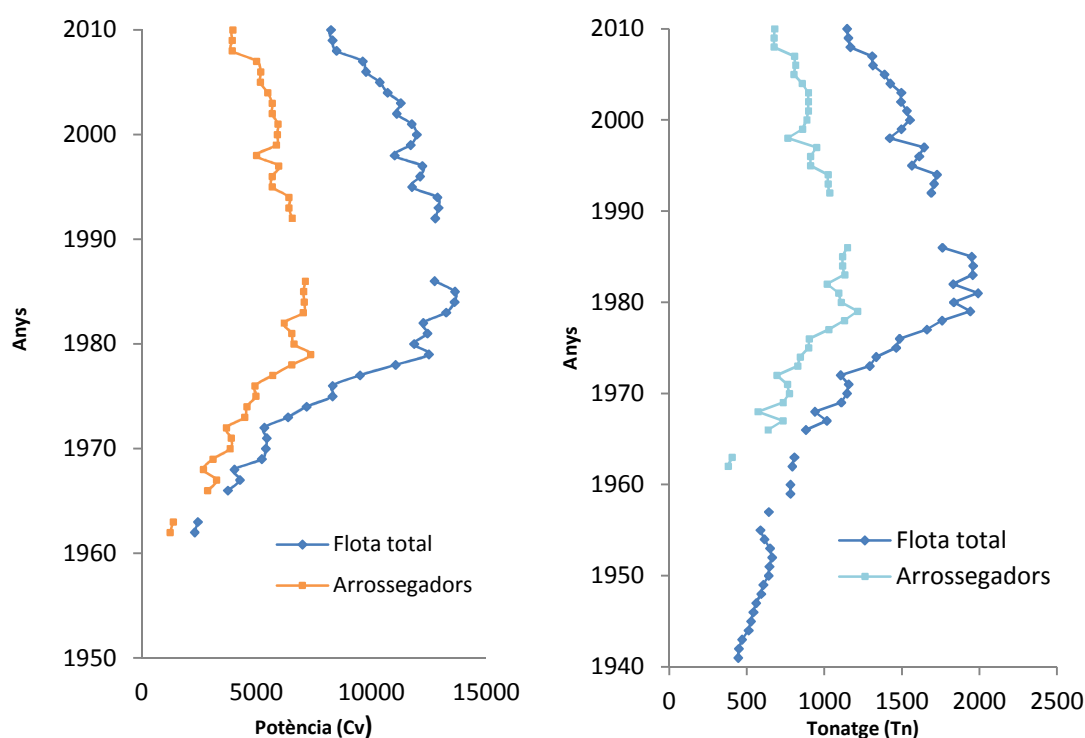


Figura 11. Evolució de la flota pesquera del port d'Arenys de Mar.

Observant aquestes dades, podem correlacionar el canvi de ritme de sedimentació en Arenys I amb el canvi tant en la potència com en el tonatge de les embarcacions pesqueres de la zona del canyó d'Arenys. Tot i així, aquest evolució de la flota no afectaria al cas d'Arenys II i III veient els resultats de la datació (Fig. 10). Aquest fet podria explicar, doncs, que la resuspensió dels sediments provocats per les arts d'arrossegament dels vaixells que treballen només afectaria al testimoni que es troba a menys profunditat (1074 m), Arenys I, i no pas als altres dos, Arenys II i III (1410 i 1632 m). A la Figura 12 es mostra com l'augment de potència i tonatge dels vaixells provoca una alteració en el ritme de sedimentació d'Arenys I, entre finals del anys 60 en endavant, coincidint temporalment amb el canvi en la flota pesquera d'Arenys. En canvi, en Arenys II i III, això no passa, l'activitat del Pb-210 en excés creix de manera constant cap a la superfície, i no es veu afectada per l'evolució de la flota pesquera.

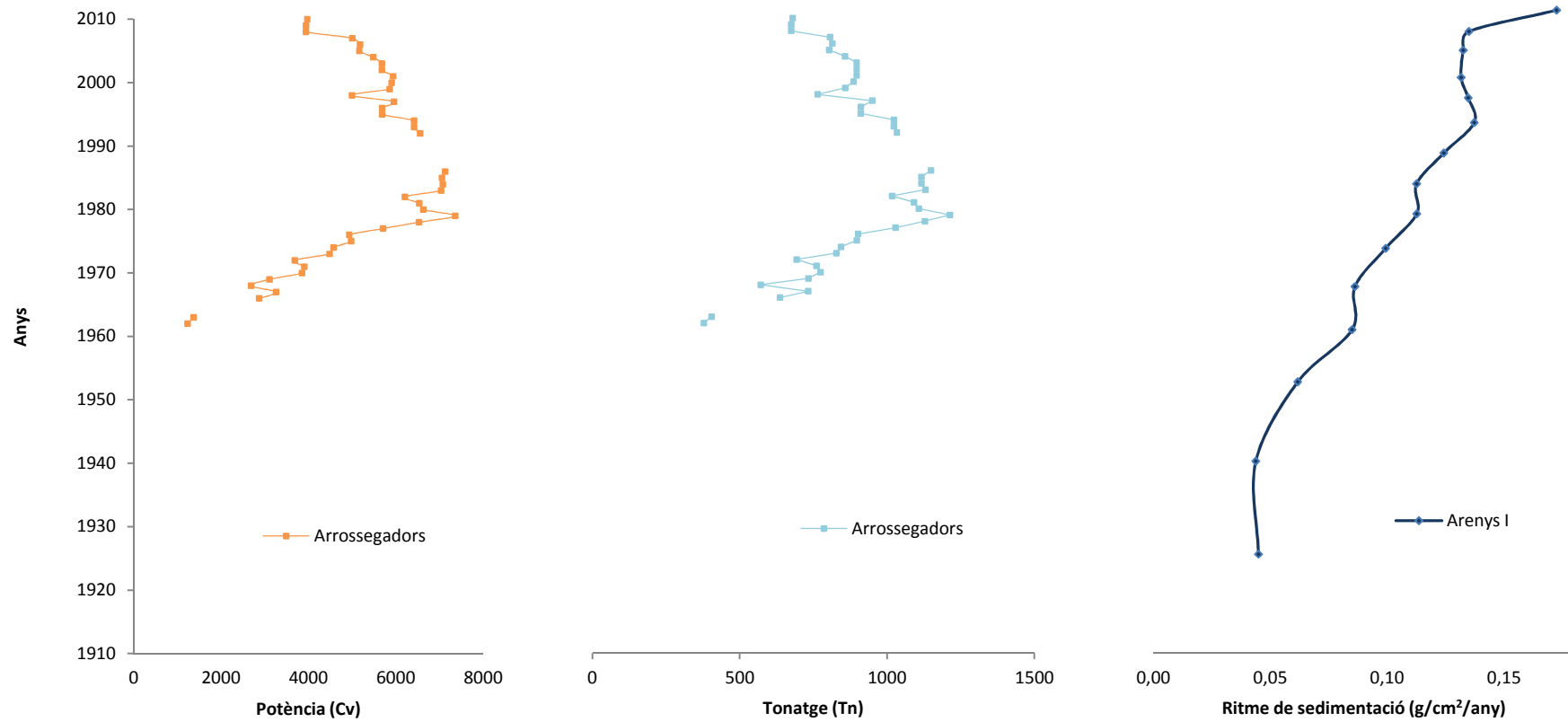


Figura 12. Comparació de l'evolució de la flota d'arrossegadors del port d'Arenys de Mar i el ritme de sedimentació d'Arenys I

Estudis previs van documentar indirectament els impactes de la pesca pels seus efectes en el eix del canyó de La Fonera (Palanques, et al., 2006; Martín, et al., 2008). Palanques et al.(2006) van notar que en el canyó de La Fonera es produïen increments dels fluxos de partícules en l'eix del canyó sense estar associats a processos naturals com tempestes, onatges, etc. En canvi, aquests augments estaven associats a corrents de terbolesa que coincidien amb períodes i horaris laborals de la flota d'arrossegament local, suggerint que aquests fluxos de sediments podien estar provocats per aquesta activitat pesquera.

A més, Martín et al. (2008) va demostrar l'augment vertiginós a partir dels anys 70 de la potència instal·lada, la mida i pes de les arts d'arrossegament i de la duració dels vols de pesca de la flota que explotava la gamba rosada als flancs del canyó de La Fonera, coincidint amb l'augment de les taxes d'acumulació de sediment en el eix del canyó, el que suggereix que, la pesca d'arrossegament produeix una notable resuspensió del sediment, provocant així canvis en el ritme de sedimentació en el eix del canyó.

Aquest fet es podria explicar, doncs, tant per les zones on es pesca, que són més properes al punt de mostreig d'Arenys I, com per la diferent morfologia del canyó en les tres posicions mostrejades, que afectarà a la resuspensió dels sediments i directament en un canvi en el ritme de sedimentació. Arenys II i III, són comparables, ja que l'afectació de la pesca d'arrossegament és pràcticament nul·la en els dos testimonis doncs, com veiem en el mapa (Fig. 3), les feines de pesca es donen amb màxima intensitat a la capçalera del canyó, a prop del testimoni Arenys I, amb pendents més importants (pendents fortes poden afavorir el transport de sediments cap a l'àrea de mostreig) que no pas als flancs a l'alçada d'Arenys II i III.

5. Conclusions

En aquest treball es pretenia avaluar els canvis de ritme de sedimentació a causa de la pesca d'arrossegament en el canyó d'Arenys.

Durant l'estudi hem pogut observar els diferents inventaris de Pb-210 en tres testimonis de sediment obtinguts a l'eix del canyó d'Arenys, l'evolució d'aquest i ho hem relacionat amb els processos naturals o artificials que poden fer variar el ritme de sedimentació en el fons marí.

S'ha vist que s'ha produït una variació en els ritmes de sedimentació en les zones properes als caladors de pesca dels arrossegadors, i que a mesura que ens allunyem d'aquestes zones el ritme de sedimentació no patia variacions, més enllà dels processos naturals (bioturbació) que afecten a aquestes zones.

A més, hem pogut correlacionar el canvi de ritme de sedimentació amb el moment en que es va produir la industrialització de la pesca d'arrossegament a partir de dades d'evolució de la flota pesquera, tant d'augment de potència com de tonatge de les embarcacions, que presumiblement van anar acompanyats d'un major impacte en els processos de resuspensió de sediments i en la seva dispersió.

Aquests resultats posen de manifest que la pesca d'arrossegament es pot haver convertit en un factor (artificial) important en la dinàmica sedimentària actual en el canyó d'Arenys. Resultats similars poden haver-se produït en altres canyons submarins del marge Català afectats per aquesta activitat pesquera, així com en altres zones del món on la pesca d'arrossegament s'hi hagi vingut produint des de fa dècades.

6. Pressupost

Pressupost	
Avaluació dels canvis de ritme de sedimentació en el canyó submarí d'Arenys a partir del Pb-210	
Personal	
Salari	7,00 €/hora
Hores	600 hores
Total Personal	4.200,00 €
Transport i dietes	
Títols integrats TMB 10 viatges	19,40 €
Viatges	30 viatges
Dieta diària	6,00 €
Dies	10 dies
Total Transport i Dietes	118,20 €
Material	
Fotocopies	30 €
Impressió	50 €
Enquadernació	6 €
CD's	3 €
Total Material	89,00 €
Preu Mostres	
Inclou amortització dels equips, materials i reactius i llum	30€/mostra
Nombre de mostres	70 unitats
Total Mostres	2.100,00 €
PRESSUPOST TOTAL	6.507,20 €

Bibliografia

Appleby, P.G., Oldfield, F., 1978. The calculation of Lead-210 dates assuming a constant rate of supply of unsupported Pb-210 to the sediment. *Catena*, 5, 1-8.

Appleby, P.G., 2001. Chronostratigraphic techniques in recent sediments. In: Last, W.M. & Smol, J.P. (eds.) *Tracking Environmental Change Using Lake Sediments, Volume 1: Basin Analysis, Coring, and Chronological Techniques*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 171-203.

Company, J.B., Ramirez-Llodra, E., Sardà, F., Aguzzi, J., Puig, P., Canals, M., Calafat, A., Palanques, A., Solé, M., Sanchez-Vidal, A., Martín, J., Lastras, G., Tecchio, S., Koenig, S., Fernandez-Arcaya, U., Mechó, A., Fernández, P. Submarine canyons in the Catalan Sea (NW Mediterranean): megafaunal biodiversity patterns and anthropogenic threats. In: Würtz M. (Ed.). *Mediterranean Submarine Canyons: Ecology and Governance*. IUCN, Gland, Switzerland and Málaga, Spain. 133-144 pp.

Goldberg E. D., 1963: Geochronology with ^{210}Pb . [In:] *Radioactive Dating*, International Atomic Energy Agency, Vienna: 121-130.

Jones, J.B., 1992. Environmental impact of trawling on the seabed: A review. *N. Z. J. Mar. Freshw. Res.* 26, 59-67.

Martín, J., Palanques, A., Puig, P., 2006. Composition and Variability of Downward Particulate Matter Fluxes in the Palamós Submarine Canyon (NW Mediterranean). *Journal of Marine System*, 60, 75-97.

Martín, J., Puig, P., Palanques, A., Masqué, P., García-Orellana, J., 2008. Effect of commercial trawling on the deep sedimentation in a Mediterranean submarine canyon. *Mar. Geol.* 252, 150-155.

Masqué, P., 1999. Estudi del comportament del Pb-210 i el Po-210 en el mar Catalanobaleà i el seu ús com a radiotracadors. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.

Nittrouer, C.A., Sternberg, R.W, Carpenter, R., Bennett, J.T., 1979. The use of Pb-210 geochronology as a sedimentological tool: Application to the Washington continental shelf. *Mar. Geol.*, 31, 297-316.

Northridge, S.P., 1991. Actualización del estudio mundial de las interacciones entre los mamíferos marinos y la pesca. *FAO Documento técnico de pesca* (251).

Palanques, A., Martín, J., Puig, P., Guillén, J., Company, J.B., Sardà, F., 2006. Evidence of sediment gravity flows induced by trawling in the Palamós (Fonera) submarine canyon (northwestern Mediterranean). *Deep-Sea Res. I* 53, 201-214.

Puig, P., Palanques, A., 1998. Nepheloid structure and hydrographic control on the Barcelona continental margin, Northwestern Mediterranean. *Marine Geology*, 149: 39-53.

Puig, P., Canals, M., Company, J.B., Martín, J., Amblas, D., Lastras, G., Palanques A., Calafat, A., 2012. Ploughing the deep sea floor. *Nature* 489, 286-289.

Sanchez-Cabeza J.A., Masqué P., Ani-Ragolta I., 1998. 210 Pb and 210 Po analysis in sediments and soils by microwave acid digestion. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 227, 19-22.

Sánchez-Cabeza, J.A., Díaz-Asencio, M., Ruiz-Fernández, A.C., 2012. Radiocronología de sedimentos costeros utilizando ²¹⁰Pb: modelos, validación y aplicaciones. Capítulo 2. Jordi García-Orellana. OIEA. Viena, Austria.

Tobar, R., Sardà, F., 1987. Análisis de la evolución de las capturas de gamba rosada, *Aristeus antennatus* (Risso, 1816), en los últimos decenios en Cataluña. *Inf. Técn. Inv. Pesq.* 142, 3-20.

Watling, L., Norse. E.A., 1998. Disturbance of the Seabed by Mobile Fishing Gear: A comparison to Forest Clearcutting. *Conservation Biology*, Vol. 12, No. 6 (Dec., 1998), 1180-1197.

Annex

A) Model CF:CS**- Testimoni Arenys I**

Fondària (cm)	Pes sec (g)	Pb-210 total (Bq/kg)	Error	Pb excés (Bq/kg)	Error	Massa acumulada (g/cm ²)	Massa acumulada punt mig secció (g/cm ²)	Edat estimada	Any
0,50	41,87	425,28	± 20,62	389,86	± 20,63	0,60	0,30	3,18	2009
1,50	28,78	489,47	± 24,07	454,05	± 24,08	1,02	0,81	5,37	2007
2,50	40,33	454,33	± 21,62	418,91	± 21,63	1,60	1,31	8,44	2004
3,50	30,85	399,76	± 19,94	364,34	± 19,95	2,04	1,82	10,78	2001
4,50	34,99					2,55	2,30	13,44	1999
5,50	48,35	306,93	± 14,07	271,51	± 14,08	3,24	2,90	17,12	1995
6,50	43,01					3,86	3,55	20,39	1992
7,50	39,70	276,81	± 14,78	241,39	± 14,79	4,44	4,15	23,41	1989
8,50	46,20	238,56	± 14,44	203,14	± 14,45	5,10	4,77	26,92	1985
9,50	42,70					5,72	5,41	30,17	1982
10,50	43,95	217,74	± 9,90	182,32	± 9,92	6,35	6,03	33,51	1978
11,50	53,66	178,56	± 10,02	143,14	± 10,04	7,12	6,74	37,59	1974
12,50	54,76	190,12	± 10,45	154,70	± 10,46	7,91	7,52	41,75	1970
13,50	44,59	181,40	± 10,14	145,98	± 10,15	0,64	0,32	12,32	1958
14,50	58,66	111,70	± 5,41	76,27	± 5,44	1,49	1,07	28,53	1942
15,50	54,64	81,74	± 4,24	46,32	± 4,28	2,28	1,88	43,63	1927
16,50	53,82	67,94	± 3,61	32,52	± 3,66	3,05	2,66	58,50	1912
17,50	67,64	46,95	± 2,39	11,53	± 2,46	4,03	3,54	77,19	1893
18,50	67,30	55,76	± 3,21	20,34	± 3,26	5,00	4,51	95,78	1874
19,50	67,24	39,51	± 1,70	4,09	± 1,80	5,96	5,48	114,36	1856
20,50	64,27	35,03	± 2,07			6,89	6,43	132,12	1838

Taula 1. Càlculs de datació amb el model CF:CS pel testimoni Arenys I

- Testimoni Arenys II

Fondària (cm)	Pes sec (g)	Pb-210 total (Bq/kg)	Error	Pb excès (Bq/kg)	Error	Massa acumulada (g/cm ²)	Massa acumulada punt mig secció (g/cm ²)	Edat estimada	Any
0,50	14,46	629,29	± 28,71	595,41	± 28,75	0,21	0,10	3,30	2009
1,50	27,57	653,83	± 33,23	619,95	± 33,27	0,61	0,41	9,59	2002
2,50	36,22	426,74	± 21,66	392,86	± 21,72	1,13	0,87	17,85	1994
3,50	40,00	313,50	± 16,13	279,62	± 16,21	1,70	1,42	26,97	1985
4,50	45,56	238,16	± 12,80	204,28	± 12,90	2,36	2,03	37,37	1975
5,50	46,14	152,95	± 8,89	119,07	± 9,03	3,03	2,69	47,89	1964
6,50	57,90	123,07	± 6,54	89,19	± 6,73	3,86	3,44	61,10	1951
7,50	54,73	100,08	± 4,63	66,20	± 4,90	4,65	4,25	73,58	1938
8,50	47,54	116,24	± 5,76	82,36	± 5,98	5,33	4,99	84,43	1928
9,50	60,45	92,42	± 3,65	58,54	± 4,00	6,20	5,77	98,21	1914
10,50	50,36	79,76	± 3,50	45,88	± 3,86	6,93	6,57	109,70	1902
11,50	50,11	45,93	± 2,21	12,05	± 2,73	7,65	7,29	121,13	1891
12,50	56,31	45,68	± 2,71	11,80	± 3,15	8,46	8,06	133,98	1878
13,50	54,85	47,09	± 3,33	13,21	± 3,70	9,25	8,86	146,49	1866
14,50	58,64	36,69	± 1,99	2,81	± 2,57	10,10	9,68	159,86	1852
15,50	55,97	36,22	± 1,93	2,34	± 2,52	10,91	10,50	172,63	1839

Taula 2. Càlculs de datació amb el model CF:CS pel testimoni Arenys II

- Testimoni Arenys III

Fondària (cm)	Pes sec (g)	Pb-210 total (Bq/kg)	Error	Pb excès (Bq/kg)	Error	Massa acumulada (g/cm ²)	Massa acumulada punt mig secció (g/cm ²)	Edat estimada	Any
0,50	8,43	666,58	± 28,43	632,63	± 28,53	0,12	0,06	1,80	2010
1,50	28,71	488,45	± 27,48	454,51	± 27,58	0,54	0,33	7,92	2004
2,50	40,85	476,76	± 25,87	442,81	± 25,98	1,12	0,83	16,63	1995
3,50	43,66	341,66	± 22,91	307,71	± 23,04	1,75	1,44	25,94	1986
4,50	46,37	239,20	± 11,36	205,26	± 11,62	2,42	2,09	35,83	1976
5,50	58,37	163,52	± 8,21	129,57	± 8,56	3,26	2,84	48,28	1964
6,50	52,33	118,45	± 6,59	84,51	± 7,02	4,02	3,64	59,44	1953
7,50	54,87	75,29	± 3,67	41,34	± 4,40	4,81	4,41	71,14	1941
8,50	53,55	75,78	± 4,32	41,84	± 4,96	5,58	5,19	82,56	1929
9,50	59,15	57,42	± 2,49	23,48	± 3,48	6,43	6,01	95,18	1917
10,50	58,85	53,74	± 2,79	19,79	± 3,70	7,28	6,86	107,73	1904
11,50	57,37	47,71	± 2,16	13,76	± 3,25	8,11	7,69	119,96	1892
12,50	57,30	50,45	± 3,06	16,50	± 3,90	8,93	8,52	132,18	1880
13,50	52,87	41,36	± 2,41	7,42	± 3,42	9,69	9,31	143,46	1869

Taula 3. Càlculs de datació amb el model CF:CS pel testimoni Arenys III

B) Model CRS**- Testimoni Arenys I**

Fondària (cm)	Pes sec (g)	Pb-210 total (Bq/kg)	Error	Pb excès (Bq/kg)	Error	Massa acumulada (g/cm ²)	Massa (g/cm ²)	Pb excès (Bq/m ²)	Error	Pb excès acumulat (Bq/m ²)	Error	Edat estimada	Any	Incertesa	Ritme sedimentació (g/cm ² /any)	Error
0,50	41,87	425,28	± 20,62	389,86	± 20,63	0,60	0,60	2352,33	± 124,50	23591,54	± 354,35	0,00	2012	± 0,7	0,172426	± 0,005718
1,50	28,78	489,47	± 24,07	454,05	± 24,08	1,02	0,41	1882,77	± 99,84	21239,20	± 331,76	3,38	2009	± 0,7	0,134876	± 0,005005
2,50	40,33	454,33	± 21,62	418,91	± 21,63	1,60	0,58	2434,24	± 125,71	19356,43	± 316,38	6,37	2006	± 0,7	0,132427	± 0,004927
3,50	30,85	399,76	± 19,94	364,34	± 19,95	2,04	0,44	1619,83	± 88,71	16922,19	± 290,33	10,69	2001	± 0,7	0,131575	± 0,005050
4,50	34,99	353,35	± 17,01	317,93	± 17,02	2,55	0,50	1755,79	± 93,42	15302,36	± 276,45	13,93	1998	± 0,8	0,134610	± 0,005104
5,50	48,35	306,93	± 14,07	271,51	± 14,08	3,24	0,70	1891,75	± 98,13	13546,57	± 260,19	17,85	1994	± 0,8	0,137187	± 0,005147
6,50	43,01	291,87	± 14,42	256,45	± 14,44	3,86	0,62	1636,39	± 91,37	11654,82	± 240,98	22,69	1989	± 0,8	0,124118	± 0,005065
7,50	39,70	276,81	± 14,78	241,39	± 14,79	4,44	0,57	1381,03	± 84,61	10018,43	± 222,98	27,55	1984	± 0,9	0,112496	± 0,004994
8,50	46,20	238,56	± 14,44	203,14	± 14,45	5,10	0,67	1352,44	± 96,21	8637,40	± 206,30	32,33	1980	± 0,9	0,112541	± 0,005329
9,50	42,70	228,15	± 12,17	192,73	± 12,19	5,72	0,62	1253,59	± 79,52	7284,96	± 182,49	37,80	1974	± 0,9	0,099249	± 0,004758
10,50	43,95	217,74	± 9,90	182,32	± 9,92	6,35	0,63	1154,75	± 62,82	6031,37	± 164,26	43,88	1968	± 1,0	0,086098	± 0,004203
11,50	53,66	178,56	± 10,02	143,14	± 10,04	7,12	0,77	1106,89	± 77,60	4876,62	± 151,77	50,72	1961	± 1,1	0,084887	± 0,004667
12,50	54,76	190,12	± 10,45	154,70	± 10,46	7,91	0,79	1220,75	± 82,58	3769,73	± 130,43	59,00	1953	± 1,2	0,061632	± 0,003883
13,50	44,59	181,40	± 10,14	145,98	± 10,15	8,56	0,64	938,04	± 65,25	2548,97	± 100,96	71,59	1940	± 1,4	0,043676	± 0,003252
14,50	58,66	111,70	± 5,41	76,27	± 5,44	9,40	0,85	644,69	± 45,98	1610,93	± 77,05	86,35	1926	± 1,6	0,044829	± 0,003368
15,50	54,64	81,74	± 4,24	46,32	± 4,28	10,19	0,79	364,69	± 33,68	966,24	± 61,83	102,80	1909	± 2,1	0,036744	± 0,003384
16,50	53,82	67,94	± 3,61	32,52	± 3,66	10,96	0,78	252,23	± 28,40	601,55	± 51,85	118,04	1894	± 2,8	0,027521	± 0,003190
17,50	67,64	46,95	± 2,39	11,53	± 2,46	11,94	0,97	112,41	± 24,01	349,33	± 43,38	135,53	1876	± 4,0	0,023125	± 0,003451
18,50	67,30	55,76	± 3,21	20,34	± 3,26	12,91	0,97	197,27	± 31,63	236,91	± 36,13	148,02	1864	± 4,9	0,013206	± 0,002533
19,50	67,24	39,51	± 1,70	4,09	± 1,80	13,88	0,97	39,65	± 17,46	39,65	± 17,46	205,54	1806	± 14,2	0,003119	± 0,001518
20,50	64,27	35,03	± 2,07			14,80	0,93									

Taula 4. Càlculs de datació amb el model CRS pel testimoni Arenys I

- Testimoni Arenys II

Fondària (cm)	Pes sec (g)	Pb-210 total (Bq/kg)	Error	Pb excès (Bq/kg)	Error	Massa acumulada (g/cm ²)	Massa (g/cm ²)	Pb excès (Bq/m ²)	Error	Pb excès acumulat (Bq/m ²)	Error	Edat estimada	Any	Incertesa	Ritme sedimentació (g/cm ² /any)	Error
0,50	14,46	629,29	± 28,71	595,41	± 28,75	0,21	0,21	1240,91	± 59,92	12502,70	± 254,04	0,00	2012	± 0,9	0,061755	± 0,003214
1,50	27,57	653,83	± 33,23	619,95	± 33,27	0,61	0,40	2463,18	± 132,17	11261,80	± 246,87	3,36	2009	± 1,0	0,053539	± 0,003136
2,50	36,22	426,74	± 21,66	392,86	± 21,72	1,13	0,52	2050,60	± 113,38	8798,61	± 208,50	11,30	2001	± 1,0	0,064087	± 0,003524
3,50	40,00	313,50	± 16,13	279,62	± 16,21	1,70	0,58	1611,82	± 93,42	6748,01	± 174,98	19,84	1992	± 1,1	0,066905	± 0,003702
4,50	45,56	238,16	± 12,80	204,28	± 12,90	2,36	0,66	1341,22	± 84,72	5136,19	± 147,96	28,62	1983	± 1,1	0,067033	± 0,003864
5,50	46,14	152,95	± 8,89	119,07	± 9,03	3,03	0,66	791,68	± 60,06	3794,97	± 121,30	38,36	1974	± 1,2	0,077124	± 0,004473
6,50	57,90	123,07	± 6,54	89,19	± 6,73	3,86	0,83	744,18	± 56,19	3003,29	± 105,39	45,88	1966	± 1,3	0,075851	± 0,004428
7,50	54,73	100,08	± 4,63	66,20	± 4,90	4,65	0,79	522,12	± 38,64	2259,11	± 89,16	55,05	1957	± 1,4	0,070162	± 0,004213
8,50	47,54	116,24	± 5,76	82,36	± 5,98	5,33	0,69	564,26	± 41,00	1736,99	± 80,35	63,50	1948	± 1,6	0,046446	± 0,003431
9,50	60,45	92,42	± 3,65	58,54	± 4,00	6,20	0,87	509,96	± 34,81	1172,73	± 69,10	76,14	1936	± 2,0	0,039440	± 0,003201
10,50	50,36	79,76	± 3,50	45,88	± 3,86	6,93	0,73	332,94	± 27,99	662,77	± 59,70	94,50	1918	± 3,0	0,025829	± 0,002989
11,50	50,11	45,93	± 2,21	12,05	± 2,73	7,65	0,72	87,03	± 19,75	329,83	± 52,73	116,95	1895	± 5,2	0,022320	± 0,004008
12,50	56,31	45,68	± 2,71	11,80	± 3,15	8,46	0,81	95,77	± 25,57	242,80	± 48,89	126,81	1885	± 6,5	0,016520	± 0,003756
13,50	54,85	47,09	± 3,33	13,21	± 3,70	9,25	0,79	104,41	± 29,23	147,03	± 41,67	142,94	1869	± 9,1	0,009705	± 0,003114
14,50	58,64	36,69	± 1,99	2,81	± 2,57	10,10	0,85	23,72	± 21,68	42,63	± 29,70	182,78	1829	± 22,4	0,003611	± 0,002634
15,50	55,97	36,22	± 1,93	2,34	± 2,52	10,91	0,81	18,90	± 20,29	18,90	± 20,29	208,94	1803	± 34,5	0,001622	± 0,001817

Taula 5. Càlculs de datació amb el model CRS pel testimoni Arenys II

- Testimoni Arenys III

Fondària (cm)	Pes sec (g)	Pb-210 total (Bq/kg)	Error	Pb excès (Bq/kg)	Error	Massa acumulada (g/cm ²)	Massa (g/cm ²)	Pb excès (Bq/m ²)	Error	Pb excès acumulat (Bq/m ²)	Error	Edat estimada	Any	Incertesa	Ritme sedimentació (g/cm ² /any)	Error
0,50	8,43	666,58	± 28,43	632,63	± 28,53	0,12	0,12	768,79	± 34,67	11615,17	± 282,18	0,00	2012	± 1,1	0,054162	± 0,002985
1,50	28,71	488,45	± 27,48	454,51	± 27,58	0,54	0,41	1880,53	± 114,13	10846,38	± 280,04	2,20	2010	± 1,1	0,069021	± 0,003904
2,50	40,85	476,76	± 25,87	442,81	± 25,98	1,12	0,59	2606,78	± 152,95	8965,86	± 255,73	8,33	2004	± 1,2	0,058454	± 0,003555
3,50	43,66	341,66	± 22,91	307,71	± 23,04	1,75	0,63	1936,05	± 144,93	6359,08	± 204,95	19,38	1993	± 1,3	0,057853	± 0,003941
4,50	46,37	239,20	± 11,36	205,26	± 11,62	2,42	0,67	1371,59	± 77,65	4423,03	± 144,91	31,06	1981	± 1,3	0,057474	± 0,003469
5,50	58,37	163,52	± 8,21	129,57	± 8,56	3,26	0,84	1089,89	± 72,03	3051,44	± 122,35	43,00	1969	± 1,5	0,058004	± 0,003803
6,50	52,33	118,45	± 6,59	84,51	± 7,02	4,02	0,75	637,28	± 52,97	1961,54	± 98,90	57,22	1955	± 1,8	0,051472	± 0,003954
7,50	54,87	75,29	± 3,67	41,34	± 4,40	4,81	0,79	326,89	± 34,76	1324,26	± 83,52	69,86	1942	± 2,2	0,054673	± 0,004490
8,50	53,55	75,78	± 4,32	41,84	± 4,96	5,58	0,77	322,86	± 38,24	997,37	± 75,94	78,98	1933	± 2,6	0,040907	± 0,004117
9,50	59,15	57,42	± 2,49	23,48	± 3,48	6,43	0,85	200,13	± 29,67	674,51	± 65,61	91,56	1920	± 3,2	0,036510	± 0,004188
10,50	58,85	53,74	± 2,79	19,79	± 3,70	7,28	0,85	167,84	± 31,35	474,38	± 58,51	102,89	1909	± 4,0	0,027439	± 0,003985
11,50	57,37	47,71	± 2,16	13,76	± 3,25	8,11	0,83	113,76	± 26,87	306,54	± 49,41	116,94	1895	± 5,2	0,019973	± 0,003630
12,50	57,30	50,45	± 3,06	16,50	± 3,90	8,93	0,83	136,27	± 32,23	192,79	± 41,46	131,86	1880	± 7,0	0,011878	± 0,002960
13,50	52,87	41,36	± 2,41	7,42	± 3,42	9,69	0,76	56,51	± 26,09	56,51	± 26,09	171,34	1841	± 14,9	0,004247	± 0,002148

Taula 6. Càlculs de datació amb el model CRS pel testimoni Arenys III