

INFORME DE L'ESTUDI

DETERMINACIÓ DEL CONTINGUT DE ^{210}Pb i ^{210}Po EN TEIXITS DE PORC

Encarregat per

l'Agència Catalana de Seguretat Alimentària (ACSA)
Departament de Salut. Generalitat de Catalunya

P. Masqué, N. Casacuberta, J. Garcia-Orellana, J.M. Bruach

Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals - Departament de Física
Universitat Autònoma de Barcelona

Juliol de 2008

Resum

Aquest estudi dona continuïtat a l'informe emès el setembre de 2006 sobre el contingut de radioactivitat en mostres de fosfat bicàlcic. El fosfat bicàlcic és un producte emprat com a additiu en l'alimentació animal. Els resultats obtinguts en l'estudi identificaven dos grups principals de fosfat bicàlcic, amb patrons de concentració diferents per als radionúclids analitzats. Es constatà que mentre que les mostres produïdes amb àcid clorhídric presentaven concentracions elevades de ^{210}Pb i ^{210}Po (superiors a $1.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$), les produïdes via àcid sulfúric tenien concentracions més baixes d'aquests isòtops ($< 20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$), però en canvi presentaven concentracions significatives de ^{230}Th ($> 1.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$). Concretament, el primer grup de mostres, amb continguts elevats de ^{210}Pb i ^{210}Po , despertà certa preocupació davant de la dosi potencial que aquest producte podria causar a la població consumidora de carn prèviament alimentada amb fosfat bicàlcic. En aquest estudi, doncs, s'ha analitzat el contingut de radioactivitat en diverses mostres de teixits de porcs procedents d'explotacions seleccionades pel Departament d'Agricultura i que van ser obtingudes de l'escorxador pels serveis d'inspecció de l'Agència de Protecció de la Salut. En particular, s'han determinat els continguts dels isòtops que més contribueixen a la dosi per ingestió: ^{210}Po (90%), i en menor mesura, ^{210}Pb (10%). Les mostres representaven 4 individus porcins, provinents de dues explotacions diferents amb continguts desconeguts de fosfat bicàlcic a les dietes. S'analitzaren les concentracions de ^{210}Pb i ^{210}Po en mostres de carn, fetge i ossos. Les concentracions de ^{210}Po són d'entre $0,05$ i $0,5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ en carn, $0,09$ i $43 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ en fetge i $0,6$ i $2,2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ en ossos. Les concentracions de ^{210}Pb són menors de $0,08 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ en carn, i varien entre $0,1$ i $1,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i entre $0,4$ i $6 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ en ossos i fetge, respectivament. Totes les concentracions estan expressades en activitat per unitat de pes sec.

S'ha realitzat també una estimació de la dosi rebuda per l'ésser humà per ingestió de carn porcina sobre la base de les concentracions dels radionúclids analitzats en la carn de porc. El valor obtingut, de $1,02 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$, representa un nivell de dosi molt inferior al que s'ha establert com a límit al Reial decret 783/2001, d'1 $\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$ pel públic en general, i també als nivells habituals que es reben, d'entre 1 i 10 $\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. La contribució principal a aquesta dosi seria deguda al ^{210}Po , i en menor mesura al ^{210}Pb .

En qualsevol cas, és clar que tècnicament es podrien minimitzar les concentracions de radionúclids de la cadena de ^{238}U en el fosfat bicàlcic, i en particular les de ^{210}Po i ^{210}Pb . Per tant, caldria instar als productors d'aquest additiu a considerar l'adopció de les mesures necessàries en el procés de producció per assolir-ho.

1. Introducció

Els porcs, així com altres animals d'engreix tal com els pollastres, s'alimenten de pinso amb una certa quantitat (~1-2%) de fosfat bicàlcic. El fosfat bicàlcic és un suplement alimentari amb continguts alts en fòsfor i calci, elements bàsics en les dietes animals. Les seves fonts poden ser orgàniques o inorgàniques. Entre aquestes últimes, trobem els dipòsits de fosfats, tant d'origen sedimentari com d'origen magmàtic. Aquests dipòsits contenen una àmplia varietat d'impureses minerals derivada de la seva formació natural. Entre aquestes impureses, en aquest estudi ens ocupa el cas de la presència d'isòtops radioactius de les cadenes naturals de desintegració, i en particular la de ^{238}U , que poden ser-hi presents en concentracions de l'ordre de fins a $2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ en fosfats d'origen sedimentari (UNSCEAR, 1982).

Les radiacions ionitzants han estat sempre presents a la natura. La vida ha conviscut amb la radiació des de les manifestacions primeres i més elementals. D'altra banda, les radiacions d'origen natural i les d'origen artificial són de naturalesa idèntica i provoquen els mateixos efectes. La utilització de les radiacions en la medicina, la indústria i les ciències en general contribueix al benestar de l'home. Tanmateix, la sobreexposició a les radiacions ionitzants és nociva per als éssers humans, i aquests han d'estar-hi protegits en contra. Un ciutadà típic rep una quantitat de radiació d'origen natural (i inevitable) molt superior a la que rep de les fonts artificials (UNSCEAR, 2000), i aquesta darrera és la que es pot i cal sotmetre a control, tenint en compte que limitacions massa restrictives poden incidir negativament en determinats aspectes del desenvolupament i del progrés. Val a dir, però, que criteris massa elàstics poden tenir conseqüències greus per a la salut pública. Els riscos associats a les radiacions es poden avaluar i estan directament relacionats amb la radiació rebuda.

S'estima que la dosi que rep l'home a causa de les radiacions naturals és, de mitjana, de $2,4 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$, si bé hi ha una variabilitat entre 1 i $10 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. Aquesta dosi ve donada, principalment, per la presència de Rn-222 en l'ambient, raigs gamma originats per la presència de radioactivitat a l'escorça terrestre, raigs còsmics i per ingestió d'aliments i aigua i per inhalació. La dosi rebuda deguda a fonts artificials és de l'ordre d' $1 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$, i és pràcticament tota derivada de les aplicacions mèdiques.

Una fracció significativa de l'exposició a la radiació per ingestió es deriva de radionúclids naturals com ara ^{40}K , ^{226}Ra , ^{210}Po i ^{210}Po , entre d'altres. El ^{40}K és el contribuent principal a la dosi per radiació interna, tot i que es controla homeostàticament a causa del fet que el potassi és un element essencial per al cos. El ^{226}Ra , ^{210}Po i ^{210}Pb s'acumulen en certs teixits del cos, i la dosi interna que provoquen ve dominada principalment pels nivells de concentració presents a la dieta i els ritmes d'ingesta; a més a més, el ^{210}Pb i el ^{210}Po entren també al cos humà per inhalació del radó. Tal com s'ha comprovat en un estudi sobre la ingesta de pollastre alimentat amb pinso amb un cert contingut de fosfat bicàlcic (Casacuberta *et al.*, 2007), els isòtops més rellevants quant a la dosi que es pot rebre són el ^{210}Pb i el ^{210}Po , de manera que es fa un èmfasi especial en la quantificació de tots dos per a l'estimació posterior del risc.

En les cadenes naturals de desintegració, cadascun dels isòtops es desintegra a ritmes diferents, alguns d'uns milers o milions d'anys (com és el cas de ^{238}U o el ^{226}Ra) i altres de pocs segons (figura 1). En principi, i en un sistema tancat, tots els isòtops

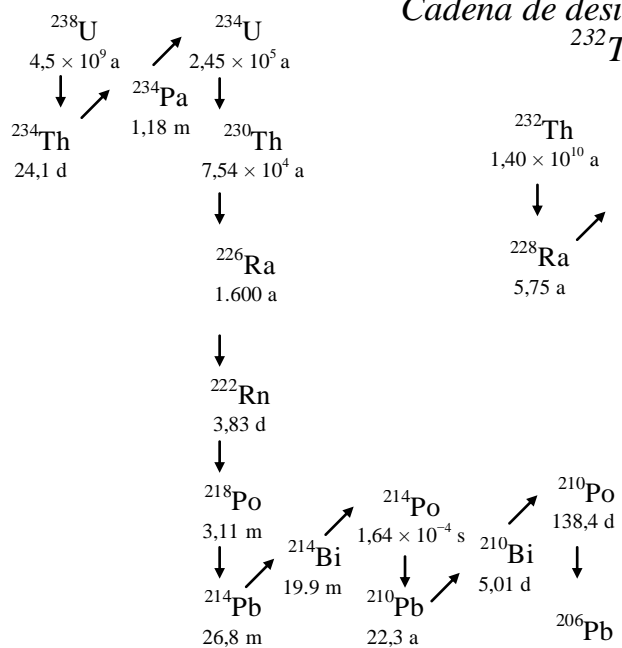
d'una mateixa cadena estarien en equilibri secular: la seva activitat radioactiva, definida com el nombre de desintegracions per unitat de temps, seria la mateixa que la del pare de la cadena. Així doncs, es parteix de l'assumpció que en els dipòsits de roca fosfòrica els radionúclids de cadascuna de les cadenes presenten la mateixa activitat que l' ^{235}U , l' ^{238}U i/o el ^{232}Th segons correspongui. Tanmateix, un cop la roca fosfòrica és processada per a la producció de productes fosfatats, com ara el fosfat bicàlcic, es produeix un trencament d'aquest equilibri, i això fa que al producte final s'hi acumulin uns o altres radionúclids.

Diversos treballs en la literatura científica informen sobre les concentracions específiques dels isòtops principals en el producte final, el fosfat bicàlcic (vegeu referències). S'observa que, efectivament, quan el material és d'origen sedimentari i el producte està destinat al consum animal les concentracions d' ^{238}U són de l'ordre de $1.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, mentre que són significativament més baixes per al ^{226}Ra (de l'ordre de $10\text{-}30 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$). Per a altres radionúclids, com el ^{210}Pb o el ^{210}Po o els isòtops de Th de la cadena de l' ^{238}U , s'observen diferències significatives segons el cas: per exemple, Gäefvert *et al.* (2001) assenyalen concentracions per a l' ^{238}U i l' ^{234}U de l'ordre de $1.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, per al ^{230}Th , el ^{226}Ra , i el ^{210}Pb d'aproximadament 10, 75 i $170 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivament, i per al ^{210}Po de $350 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. Les diferències, com es veurà més endavant en aquest informe, depenen del procés de producció del fosfat bicàlcic.

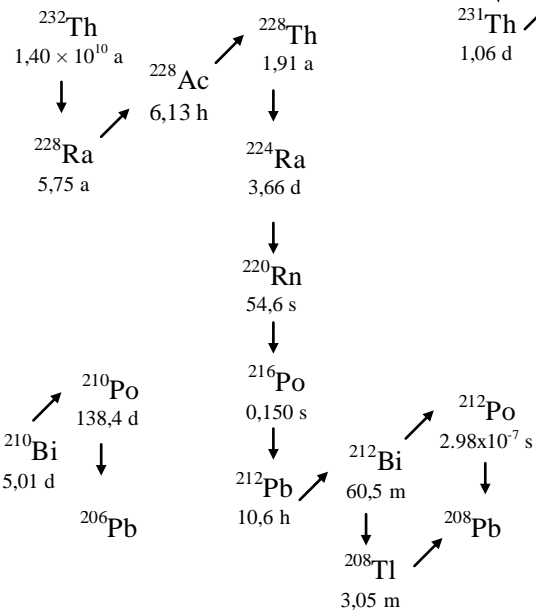
Fem notar que ja Izak-Biran *et al.* (1989), tot i que han determinat nivells relativament elevats d' ^{238}U (i. e. de fins a $2.400 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) en fosfat bicàlcic, estimen que la dosi en els humans (a Israel) associada al consum de productes animals seria de l'ordre de $0,04 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$, d'acord amb el nivell de concentracions d' ^{238}U i ^{210}Po en carn de pollastre i ous; aquestes concentracions no sobrepassaven els $5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i $1 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ respectivament. Tanmateix, en aquest treball s'emfatitzava el fet que en les mostres de fosfat bicàlcic analitzades les concentracions de ^{210}Po i altres radionúclids descendents de l' ^{238}U eren baixes, i que en cas que no s'hagués produït aquest fraccionament la dosi en els humans podria ser de l'ordre d'alguns $\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. La recomanació final d'aquest treball era que caldria establir un programa de seguiment dels additius per a alimentació humana, i en particular del fosfat bicàlcic.

Figura 1. Cadenes de desintegració de ^{238}U , ^{232}Th i ^{235}U

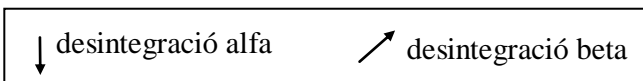
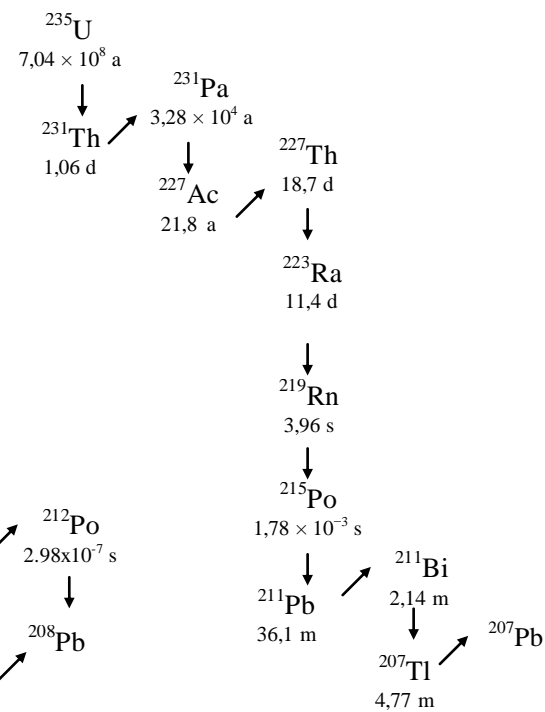
Cadena de desintegració de ^{238}U



Cadena de desintegració del ^{232}Th



Cadena de desintegració de ^{235}U



2. Antecedents

Com es va confirmar en l'estudi *Determinació del contingut de radioactivitat en mostres de fosfat bicàlcic per alimentació animal i humana* (Masqué i García-Tenorio, 2006), durant el procés de fabricació del fosfat bicàlcic es produeix un trencament de l'equilibri secular dels elements de la cadena de ^{238}U presents al material original (i. e. roca fosfòrica). Això és degut a la solubilitat i les propietats químiques dels elements que conformen la cadena, de manera que cadascun dels elements es concentra en diferents proporcions en els diversos subproductes. Així mateix, el fraccionament dels radionúclids de cada cadena es dona de forma diferent segons si la digestió de la roca mare s'ha realitzat amb àcid sulfúric o àcid clorhídric. En l'informe esmentat es constata que les mostres de fosfat bicàlcic produïdes a partir d'àcid clorhídric contenien nivells alts de ^{210}Pb i ^{210}Po ($\sim 2.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$), mentre que les mostres produïdes a partir d'àcid sulfúric contenien nivells alts de ^{230}Th ($1.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) i activitats baixes de ^{210}Pb i ^{210}Po ($< 20 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$). D'altra banda, el fosfat bicàlcic destinat al consum humà presentava concentracions molt baixes de tots els elements estudiats, a causa del fet que els processos de fabricació imposen purificacions més exhaustives que eliminen a nivells pràcticament negligibles la presència d'isòtops radioactius. De fet, l'àcid fosfòric és purificat posteriorment en diverses etapes, que poden incloure, en funció de la puresa que es requereixi, una precipitació de sulfits (que arrossega els metalls pesants) i una extracció solvent que minimitzi l'extracció, entre d'altres de l'U, en l'àcid fosfòric. Realitzant aquestes purificacions, la presència d'isòtops radioactius de les cadenes naturals de desintegració seria mínima.

Havent-se determinat unes concentracions considerablement elevades de ^{210}Pb i ^{210}Po en algunes de les mostres de fosfat bicàlcic comercialitzades a Catalunya, l'Agència Catalana de Seguretat Alimentària proporcionà al Laboratori de Radioactivitat Ambiental de la Universitat Autònoma de Barcelona diverses mostres de teixit de porc alimentats amb pinso amb una concentració determinada de fosfat bicàlcic. L'anàlisi de les mostres permetria, d'una banda, conèixer la quantitat de ^{210}Pb i ^{210}Po acumulada als diferents teixits animals i, de l'altra, realitzar un càlcul de la dosi que rebria la població a causa de la ingestió d'aquests radionúclids pel consum de carn de porc.

3. Objectius

L'objectiu principal de l'estudi és identificar i avaluar les concentracions de ^{210}Pb i ^{210}Po en mostres diferents de teixits de porc alimentats amb pinso que conté certes quantitats de fosfat bicàlcic afegit com a additiu.

A partir dels resultats que s'obtinguin, es realitzarà una avaluació del risc per a la salut de les persones considerant un consum de 8,4 kg de carn de porc per persona i any.

Així mateix, s'avaluarà la necessitat de dissenyar actuacions posteriors que assegurin la protecció de la salut dels consumidors.

4. Mètodes

L' ACSA va subministrar al Laboratori de Radioactivitat Ambiental (LRA) de l' Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona dotze mostres de diferents teixits de porc procedents de quatre individus de dues explotacions diferents. En total es van obtenir 4 mostres d'ossos, 4 de fetge i 4 de carn de porc destinats a alimentació humana. Les explotacions van ser seleccionades pel Departament d'Agricultura i les mostres van ser obtingudes de l'escorxador pels serveis d'inspecció de l'Agència de Protecció de la Salut. Les mostres arribaren al laboratori un dia després del sacrifici del porc i s'assecaren a una temperatura constant d' entre 65 i 70 °C.

Per a totes les mostres es determinà l'activitat de ^{210}Po per espectrometria alfa d'alta resolució i baix fons prèvia separació radioquímica segons mètodes estàndard (Sánchez-Cabeza *et al.*, 1998). Per a la quantificació del ^{210}Pb s'analitzaren les mateixes mostres al cap de 6 mesos de la primera anàlisi utilitzant la mateixa tècnica i realitzant les correccions de desintegració i creixement oportunes.

Per cada mostra s'han realitzat tres replicats, tant per a l'anàlisi del ^{210}Po com per a l'anàlisi del ^{210}Pb . Els resultats que es presenten corresponen a la mitjana de les tres mesures per a cada cas.

Paral·lelament a les mesures per espectrometria alfa, es van preparar geometries de 100 cm^3 per a la quantificació dels emissors gamma de la cadena de l' ^{238}U , així com el ^{40}K i els radionúclids artificials (^{137}Cs , ^{60}Co i ^{241}Am). En aquest cas, només s'ha mesurat una mostra representativa de cada teixit porcí.

5. Resultats i discussió

5.2. Concentracions de ^{210}Pb i ^{210}Po en els diferents teixits animals

A les taules 1 i 2 es mostren els resultats de les concentracions específiques de ^{210}Pb i ^{210}Po obtinguts de les anàlisis realitzades, expressades en pes sec i humit respectivament. Els valors de les concentracions de ^{210}Pb i ^{210}Po es representen a les figures 1 i 2.

A la figura 1 es representen en pes sec les concentracions específiques de ^{210}Po . S'observa que els individus amb codis 6506040 i 6506039 (explotació 1) presenten unes concentracions específiques més grans de ^{210}Po en els ossos i el fetge respecte als individus amb codis 6506240 i 6506237 (explotació 2). En qualsevol cas, la raó entre les concentracions específiques en fetge i ossos és sempre > 1 . Això indica que el ^{210}Po s'acumula majoritàriament en el fetge i en menys concentració, als ossos, resultats també observats en els estudis realitzats amb pollastres (Casacuberta *et al.*, 2007). D'altra banda, cal destacar l'acumulació mínima de ^{210}Po en carn, amb una mitjana de concentracions de $0,3 \pm 0,2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$.

Fem notar que les diferències de concentracions específiques entre les quatre mostres analitzades podrien ser degudes a les diferents taxes d'ingestió de l'animal o a petites diferències en l'acumulació dels radionúclids al cos d'aquest. No obstant això, els nostres resultats entren dins el rang de valors obtinguts en altres estudis. Per exemple, Linsalata (1994) assenyalava concentracions de ^{210}Po en carn de vedella d'entre $0,06$ i $0,2 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ en pes fresc.

Quant a les concentracions específiques en pes sec de ^{210}Pb a les mateixes mostres (figura 2), s'observa més acumulació als ossos i fetge, amb un interval de valors de $0,44$ a $6,0 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ i de $< 0,03$ a $1,9 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$, respectivament. A diferència dels resultats obtinguts en el cas del ^{210}Po , l'acumulació de ^{210}Pb en els òrgans porcins no mostra diferències significatives entre els individus procedents de totes dues explotacions. Els resultats obtinguts també coincideixen amb els observats en pollastres (Casacuberta *et al.*, 2007).

La diferència de concentracions específiques entre ^{210}Po i ^{210}Pb es pot expressar en forma de raó isotòpica entre ^{210}Po i ^{210}Pb (taula 3). Així, mentre el ^{210}Po s'acumula principalment a la carn i al fetge (raons $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb} > 1$), el ^{210}Pb tendeix a acumular-se als ossos (raó $^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb} < 1$).

Quant als resultats de les mesures d'emissors gamma de les tres mostres de teixit analitzades (taula 4), s'observa que en la majoria dels casos els valors es troben per sota les activitats detectables mínimes. És el cas del ^{234}Th , ^{234}U , ^{230}Th i els radionúclids artificials (^{137}Cs , ^{60}Co i ^{241}Am).

Taula 1. Concentracions específiques ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) de ^{210}Pb i ^{210}Po en pes sec de les mostres de porc analitzades. Les concentracions de tots dos radionúclids corresponen a la data de recepció de les mostres al laboratori (30 de maig, explotació 1; 3 de juliol, explotació 2). Les concentracions específiques de cada mostra corresponen a la mitjana de 3 replicats.

Concentracions específiques ^{210}Po en mostres porcines (pes sec)

	Explotació 1		Explotació 2	
	6506040	6506039	6506240	6506237
Carn	0,46 ± 0,08	0,50 ± 0,09	0,05 ± 0,03	0,14 ± 0,01
Ossos	2,2 ± 0,2	1,80 ± 0,05	0,6 ± 0,2	0,32 ± 0,07
Fetge	43 ± 4	6,0 ± 0,4	0,09 ± 0,13	0,6 ± 0,1

Concentracions específiques ^{210}Pb en mostres porcines (pes sec)

	Explotació 1		Explotació 2	
	6506040	6506039	6506240	6506237
Carn	< 0,11	< 0,05	< 0,08	< 0,08
Ossos	0,9 ± 0,5	6,0 ± 0,8	5,2 ± 1,0	0,44 ± 0,19
Fetge	0,1 ± 0,1	1,2 ± 0,2	1,9 ± 0,2	< 0,10

Taula 2. Concentracions específiques ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) de ^{210}Pb i ^{210}Po en pes humit de les mostres de porc analitzades. Els percentatges en pes sec són del 30%, 64% i 25% per a carn, ossos i fetge, respectivament. Les concentracions de tots dos radionúclids corresponen a la data de recepció de les mostres al laboratori (30 de maig, explotació 1; 3 de juliol, explotació 2). Les concentracions específiques de cada mostra corresponen a la mitjana de 3 replicats.

Concentracions específiques ^{210}Po en mostres porcines (pes humit)

	Explotació 1		Explotació 2	
	6506040	6506039	6506240	6506237
Carn	0,14 ± 0,02	0,15 ± 0,03	0,02 ± 0,01	0,042 ± 0,004
Ossos	1,4 ± 0,1	1,15 ± 0,03	0,4 ± 0,1	0,20 ± 0,05
Fetge	11 ± 1	1,5 ± 0,1	0,02 ± 0,03	0,16 ± 0,03

Concentracions específiques ^{210}Pb en mostres porcines (pes humit)

	Explotació 1		Explotació 2	
	6506040	6506039	6506240	6506237
Carn	< 0,03	< 0,00002	< 0,02	< 0,02
Ossos	0,6 ± 0,3	3,9 ± 0,5	3,3 ± 0,6	0,3 ± 0,1
Fetge	0,03 ± 0,02	0,31 ± 0,05	0,49 ± 0,04	< 0,03

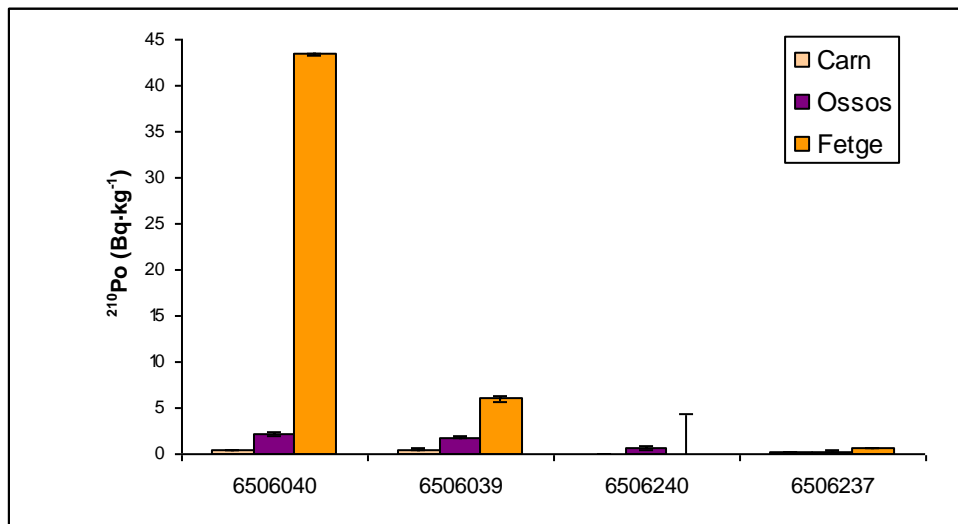


Figura 1. Concentracions específiques de ^{210}Po (pes sec) en mostres porcines

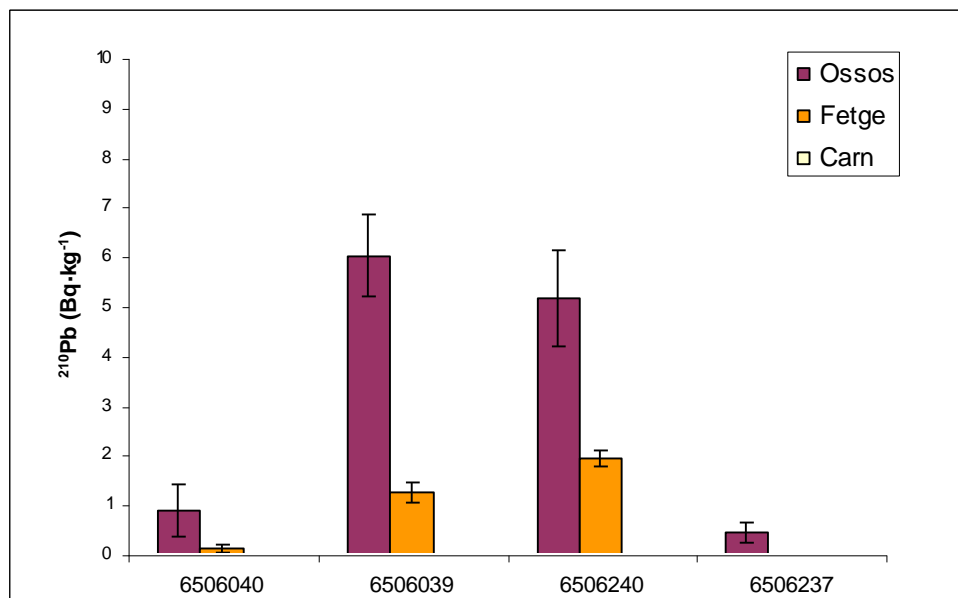


Figura 2. Concentracions específiques de ^{210}Pb (pes sec) en mostres porcines

Taula 3. Relació entre les concentracions específiques entre ^{210}Po i ^{210}Pb en cadascun dels òrgans analitzats.

$^{210}\text{Po}/^{210}\text{Pb}$	6506040	6506039	6506240	6506237
Carn	4,1	10,0	0,6	1,8
Ossos	2,5	0,3	0,1	0,7
Fetge	325	4,8	0,05	6,4

Taula 4. Concentracions específiques de diversos radionúclids emissors gamma ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$) en mostres de teixit porcí. Els resultats s'expressen en pes sec

	^{234}Th	^{234}U	^{230}Th	^{226}Ra (via ^{214}Pb)	^{137}Cs	^{60}Co	^{241}Am
6506039 carn	< 16	< 17	< 411	$3,8 \pm 0,8$	< 1,5	< 1,4	< 1,5
6506039 ossos	< 22	< 27	< 670	$4,8 \pm 0,9$	< 2,5	< 2,2	< 2,5
6506040 fetge	< 3,5	< 3,9	< 68	< 0,8	< 0,5	< 0,4	< 0,3

6.2. Avaluació del risc radiològic

Aspectes legals

A l'actualitat, no hi ha una legislació que reguli la presència de radioactivitat en el fosfat bicàlcic destinat a l'alimentació animal. Així, el fosfat bicàlcic és definit al Reial decret 56/2002 sobre les primeres matèries en alimentació animal; el Reial decret 456/2003, sobre substàncies indesitjables en alimentació animal, especifica els metalls pesants, les micotoxines, els pesticides i altres substàncies contaminants, i n'estableix els límits màxims en els productes destinats a l'alimentació animal. S'ha de remarcar que no s'hi estableix la radioactivitat i, per tant, no fixa límits màxims en els pinsos o en les matèries primeres.

Tampoc no s'estableix la radioactivitat en les recomanacions comunitàries sobre els plans de control oficial sobre els pinsos. De fet, els controls de radioactivitat en aliments i pinsos només estan previstos en cas d'incidents radiològics (Reglament CE 3954/87), s'hi estableixen toleràncies màximes de contaminació radioactiva de productes alimentaris i pinsos després d'un accident nuclear o qualsevol altre cas d'emergència radiològica, i s'hi indiquen els límits màxims de radioactivitat produïda per radionúclids artificials per als aliments. A més a més, no es fixen límits per als pinsos, sinó que s'hi indica un procediment per fixar-los, tenint en compte que han de ser els necessaris per complir els límits en els aliments provinents dels animals que els consumeixin.

Tanmateix, recentment, l'Agència Internacional d'Energia Atòmica (IAEA) ha publicat la *Safety Guide* No. RS-G-1,7, en la qual s'estableixen les concentracions dels radionúclids naturals en materials, però sense incloure aquelles que siguin de tipus alimentari, a partir de les quals cal estudiar-ne el risc radiològic associat per a les persones i la viabilitat de reduir-les. En particular, les concentracions límit per als radionúclids de les cadenes naturals de desintegració són $1.000 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$. És, per tant, necessari realitzar estudis i/o controls sistemàtics dels materials susceptibles de presentar concentracions de radionúclids d'origen natural d'aquest ordre.

Per altra banda, el Reial decret 783/2001 estableix que la dosi màxima que pot rebre una persona del públic, a part de la radiació natural, és de $1 \text{ mSv}\cdot\text{a}^{-1}$. Cal, doncs, determinar les concentracions de dosi degudes al consum indirecte de fosfat bicàlcic i, si escau, estudiar solucions alternatives al consum de productes NORM (*naturally occurring radioactive materials*).

Estimació preliminar del risc radiològic

A partir de les dades obtingudes en aquest estudi, es pot plantejar realitzar una estimació preliminar de la dosi radioactiva que podria rebre una persona tipus a Catalunya per consum de carn de porc, la dieta de la qual inclou el fosfat bicàlcic.

Els paràmetres principals que cal conèixer per estimar-ne la dosi en l'èsser humà són:

- a) Concentració de cadascun dels radionúclids en els diferents teixits animals comestibles (C).
- b) Quantitat d'aliment en la dieta tipus de la població a Catalunya (M).
- c) Factors de conversió de dosi ($\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$) per radionúclid ($h(g)$)¹.

De tots aquests factors, alguns es poden determinar amb un bon nivell de precisió. Pel què fa a la concentració dels dos isòtops radioactius, es poden prendre els resultats obtinguts en aquest estudi.

La quantitat de carn en la dieta tipus d'un adult a Catalunya és coneguda (ENCAT 2002-2003). D'altra banda, els factors de conversió de dosi estan estipulats al Reial decret 783/2001 (taula A de l'annex III).

Sobre la base d'aquestes consideracions, la dosi anual que rebria una persona adulta per ingesta de carn de pollastre es calcularia segons l'expressió següent:

$$D = M * (C_{Po-210} \cdot h(g)_{Po-210} + C_{Pb-210} \cdot h(g)_{Pb-210})$$

Les concentracions de ^{210}Pb i ^{210}Po consumides seran les corresponents a les concentracions específiques a la carn (mitjana dels resultats obtinguts; cal tenir en compte que per al ^{210}Pb es prendrà la mitjana de les mínimes activitats detectables, MAD). Els resultats d'aplicar aquesta expressió en les condicions especificades es mostren a la taula 5.

¹ Corresponents a dosi efectiva compromesa per unitat d'incorporació per ingestió per a membres del públic.

Taula 5. Estimació de la dosi anual rebuda per un adult tipus a Catalunya pel consum de carn de porc alimentat amb fosfat bicàlcic com a additiu del pinso. Es considera que la ingesta anual de carn de porc és de 8,4 kg (pes fresc). Les concentracions de radionúclids en teixits animal corresponen a la mitjana dels resultats obtinguts en aquest estudi (en pes sec) o la mitjana de la MAD en el cas del ^{210}Pb . Els factors de conversió de dosi corresponen al Reial decret 783/2001.

Radionúclid	Concentració en carn comestible ($\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$)	$h(g)$ ($\text{Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$)	Dosi ($\mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$)
Pb-210	0,08	$6,9\cdot 10^{-7}$	0,14
Po-210	0,29	$1,2\cdot 10^{-6}$	0,88
		Total	1,02

D'aquesta estimació, cal fer notar dos aspectes importants:

- En primer lloc, en el supòsit que a la realitat la dosi anual que rebés una persona fos d'aquest ordre, el nivell de dosi seria molt inferior al que es rep per exposició a la radiació natural (entre 2 i 10 mSv per any).
- D'altra banda, que el ^{210}Po és el contribuent principal a la dosi estimada, en un 90%, mentre que el ^{210}Pb contribueix en aproximadament el 10%.

6. Conclusions

S'han analitzat un total de 12 mostres de teixits porcins corresponents a carn, ossos i fetge de 4 individus, 2 dels quals procedeixen d'una explotació i 2 d'una altra. En principi, tots els individus han estat alimentats amb fosfat bicàlcic provinent de la mateixa planta de producció, tot i que se'n desconeix la quantitat exacta que ha ingerit cada individu. Dels resultats obtinguts se'n poden treure les següents conclusions:

- Els radionúclids que més contribueixen a la dosi per ingestió (^{210}Pb i ^{210}Po) s'acumulen en concentracions significativament baixes als teixits porcins. Tot i així, s'observen diferències entre tots dos radionúclids. Mentre el ^{210}Po s'acumula majoritàriament al fetge i en menys proporció als ossos, el ^{210}Pb ho fa als ossos. A més a més s'observa, en línies generals, com el ^{210}Po s'acumula més que el ^{210}Pb , a causa del major factor de transferència intestinal ($f_{1\text{Po-210}} = 0,5$; $f_{1\text{Pb-210}} = 0,2$). Cal tenir present, també, que part de les concentracions de radionúclids en organismes poden ser degudes a altres vies d'entrada.
- Cal destacar la baixa concentració de tots dos radionúclids en carn, teixit que potencialment podria causar una major dosi al consumidor.
- Els emissors gamma estudiats presenten activitats majoritàriament per sota les mínimes activitats detectables. Només en el cas del ^{226}Ra s'observen concentracions específiques de $\sim 4\text{-}5 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ (pes sec) en carn i ossos. Tanmateix aquest radionúclid contribuiria en una proporció molt menor que el ^{210}Pb i ^{210}Po a la dosi per ingestió ($h(g) = 2,8 \cdot 10^{-7} \text{ Sv}\cdot\text{Bq}^{-1}$).
- Dels resultats obtinguts es pot fer una estimació de la dosi rebuda deguda al consum de carn de porc. Prenent un consum mitjà anual de 8,4 kg de carn i les mitjanes de les concentracions específiques de ^{210}Pb i ^{210}Po determinades en aquest, la dosi anual per persona seria de $1,02 \mu\text{Sv}\cdot\text{a}^{-1}$. Aquest valor és, com es pot comprovar, molt inferior al que rep la població de forma natural (entre 2 i 10 $\text{mSv}\cdot\text{a}^{-1}$).

7. Bibliografia

Arruda-Neto JDT, Tavares MV, Filadelfo M. Concentrations of uranium in animal feed supplements: measurements and dose estimates. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 1997; 221: 97-104.

Carvalho FP. ^{210}Pb and ^{210}Po in sediments and suspended matter in the Tagus estuary, Portugal. Local enhancement of natural levels by wastes from phosphate ore processing industry. *Sci Total Environ* 1995; 159: 201-214.

Casacuberta N, Masqué P, Garcia-Orellana J, Gasa J, Anguita M. (2007). Incorporation of ^{210}Pb and ^{210}Po to poultry through the addition of dicalcium phosphate to the diet. *8th International Symposium on the Natural Radiation Environment, 7-12 October, 2007 Búzios (Brasil)*.

ENCAT. Enquesta sobre l'estat nutricional de la població catalana i avaluació dels hàbits alimentaris 2002-2003. Direcció General de Salut Pública. Departament de Salut. Generalitat de Catalunya.

Joint Food and Agriculture Organization of the United Nations/World Health Organization Food Standards Programme, Codex Alimentarius Commission, Codex Alimentarius 1991; 1 (6.1).

ICRP. Recommendations of the International Commission of Radiological Protection. Draft for consultation 2005: 2005141.

International Atomic Energy Agency. Assessment of doses to the public from ingested radionuclides. Safety Report Series 1999; 14: 95.

International Atomic Energy Agency. Extent of environmental contamination by naturally occurring radioactive material (NORM) and technological options for mitigation. Technical Report Series 2003; 419: 208.

International Atomic Energy Agency. Application of the concepts of exclusion, exemption and clearance. Safety standards series no. RS-G-1.7; 2004: 39.

International Atomic Energy Agency. Derivation of activity concentration values for exclusion, exemption and clearance. Safety Report Series 2005; 44: 81.

Izak-Biran T, Schlesinger R, Weingarten R, Even O, Shamaï Y, Israeli M. Concentrations of U and Po in animal feed supplements in poultry meat and in eggs. *Health Physics* 1989; 56 (3): 315-319.

Linsalata P. Uranium and Thorium decay series radionuclides in human and animal foodchains – a review. *Journal of Environmental Quality* 1994; 23: 633-642.

Masqué PI, García-Tenorio R. Informe de l'estudi "Determinació del contingut de radioactivitat en mostres de fosfat bicàlcid per alimentació animal i humana". Encarregat per l'Agència Catalana de Seguretat Alimentària (ACSA). 2006.

Real decreto 783/2001, de 6 de julio, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección sanitaria contra radiaciones ionizantes. BOE 178, 27284-27393, 2001.

Real decreto 456/2003 sobre las sustancias indeseables en la alimentación animal. BOE 102, 16485-16493, 2003.

Requejo AM, Ortega RM, Robles B, Suáñez A. Estudio sobre dietas y hábitos alimentarios en la población española. Final report CSN-CIEMAT Contract CIEMAT IAEPIRA /05/01, 2001.

Reid DF, Sackett WM. Uranium and radium in livestock feed supplements. Health Physics 1977; 32: 535-540.

UNSCEAR. UNITED NATIONS, Sources and Effects of Ionizing Radiation (Report to the General Assembly), Vols 1 and 2, Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), UN, New York, 2000.