

# Estudi del contingut de $^{210}\text{Pb}$ en plomes d'*Apus apus*

Alba Riera Mujal

Llicenciatura de Ciències Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona

Tutor: Dr. Jordi Garcia – Orellana

---

## RESUM

A l'atmosfera hi trobem radionúclids de la sèrie del  $^{238}\text{U}$  com el  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{210}\text{Po}$ . L'objectiu principal d'aquest estudi és determinar el contingut i distribució de  $^{210}\text{Pb}$  en plomes d'aus migratòries i estudiar el seu potencial ús com a traçador de corrents migratòries, gràcies a que les plomes són estructures útils per a realitzar estudis de biomonitorització. Per a realitzar l'estudi s'ha escollit com a espècie migratòria el falciot comú (*Apus apus*). Els resultats mostren que el  $^{210}\text{Pb}$  no es distribueix uniformement entre individus adults i joves, ni entre les diferents plomes de l'ala dels ocells. La major concentració de  $^{210}\text{Pb}$  es troba en les plomes primàries dels individus adults i en l'hemibandera externa de la ploma. Les concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  oscil·len entre els 43 i 1065  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , amb una concentració mitjana de 586  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ . El fet de detectar  $^{210}\text{Pb}$  només en les plomes primàries de l'ala implica que la incorporació de  $^{210}\text{Pb}$  a l'ocell és via adsorció del  $^{210}\text{Pb}$  present a l'atmosfera. Es pot afirmar que el  $^{210}\text{Pb}$  present a l'atmosfera és arrossegat per les ales de les aus i queda adsorbit a les plomes.

**Paraules Clau:** Plom – 210 ( $^{210}\text{Pb}$ ); acumulació; ploma; falciot comú (*Apus apus*).

## RESUMEN

En la atmósfera encontramos radionúclidos de la serie del  $^{238}\text{U}$  como el  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  y  $^{210}\text{Po}$ . El objetivo principal de este estudio es determinar el contenido y distribución de  $^{210}\text{Pb}$  en plumas de aves migratorias y estudiar su potencial uso como trazador de corrientes migratorias, gracias a que las plumas son estructuras útiles para realizar estudios de biomonitorización. Para realizar el estudio se ha escogido como especie migratoria el vencejo común (*Apus apus*). Los resultados muestran que el  $^{210}\text{Pb}$  no se distribuye uniformemente entre individuos adultos y jóvenes, ni entre las diferentes plumas del ala de las aves. La mayor concentración de  $^{210}\text{Pb}$  se encuentra en las plumas primarias de los individuos adultos y en la hemibandera externa de la pluma. Las concentraciones de  $^{210}\text{Pb}$  oscilan entre los 43 y 1065  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , con una concentración media de 586  $\text{Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ . El hecho de detectar  $^{210}\text{Pb}$  sólo en las plumas primarias del ala implica que la incorporación de  $^{210}\text{Pb}$  al pájaro es vía adsorción del  $^{210}\text{Pb}$  presente en la atmósfera. Se puede afirmar que el  $^{210}\text{Pb}$  presente en la atmósfera es arrastrado por las alas de las aves y queda adsorbido en las plumas.

**Palabras Clave:** Plomo - 210 ( $^{210}\text{Pb}$ ); acumulación; pluma; vencejo común (*Apus apus*).

## ABSTRACT

In the atmosphere there are radionuclides of  $^{238}\text{U}$  series as  $^{222}\text{Rn}$ ,  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{210}\text{Po}$ . The aim of this study is to determine the content and distribution of  $^{210}\text{Pb}$  in feathers of migratory birds and study their potential use as tracers of migratory flows, because feathers are useful structures for

biomonitoring studies. To develop the study, we chose the common swift (*Apus apus*) as a migratory specie. The results show that the  $^{210}\text{Pb}$  is non-uniformly distributed between adults and young birds, or between different feathers of the wing. The highest concentrations of  $^{210}\text{Pb}$  were observed in primary feathers of adults and in the outer vane of the feather. The  $^{210}\text{Pb}$  concentrations ranged from 43 to  $1065 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , with a mean value of  $586 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Because  $^{210}\text{Pb}$  is detect only in the primary feathers of the wing implies that the incorporation of  $^{210}\text{Pb}$  in the bird is via adsorption of  $^{210}\text{Pb}$  present in the atmosphere.  $^{210}\text{Pb}$  from the atmosphere is scavenge with the wings of birds and was adsorbed in the feathers.

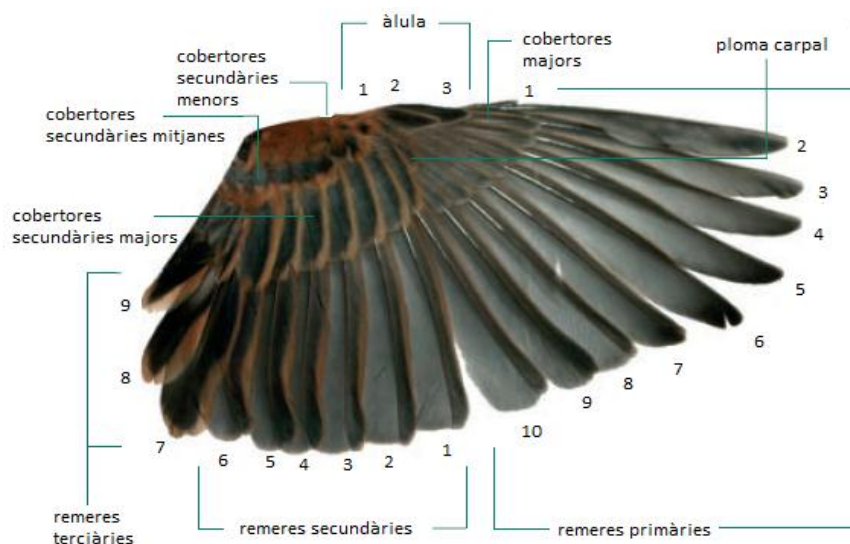
**Keywords:** Lead - 210 ( $^{210}\text{Pb}$ ) accumulation; feathers; common swift (*Apus apus*).

## 1. INTRODUCCIÓ

Les aus són un grup de vertebrats que es caracteritzen per presentar el cos recobert de plomes i tenir la capacitat de volar gràcies a la transformació dels membres anteriors amb ales. En el cos d'una au hi ha diferents tipus de plomes: *plomes cobertores*, que cobreixen tot el cos; ii) *plomissol*; iii) *plomes remeres* o plomes de vol de les ales; i iv) *plomes rectrius* o *timoneres*, són les plomes de vol de la cua (veure *Figura 1*). Cap altre animal és capaç de desplaçar-se tanta distància en tan poc temps.

Les aus han estat utilitzades com a bioindicadors per diverses raons: i) La seva

ecologia s'entén bé; ii) Els vincles entre les comunitats d'aus, les associacions vegetals, i el territori ha estat clarament demostrada [Keast, 1990; Petty i Avery, 1990]; iii) Es cobreixen els diferents nivells de la piràmide ecològica en tots els entorns [Bunce et al., 1981; Burrough, 1986]; iv) Són fàcils de detectar, i permet una ràpida recol·lecció de dades no només sobre la presència/absència, sinó també en l'abundància [Haila, 1985; Wiens, 1989].



**Figura 1.** Parts d'una ala d'una au. Font: Elaboració pròpia a partir d'una imatge extreta d'internet.

S'han fet molts estudis sobre l'acumulació de metalls pesants [Movalli,1999; Dauwe et al., 2003] i contaminants orgànics persistents [Dauwe et al., 2005; Jaspers et al., 2006] en plomes. També s'han realitzat alguns estudis sobre l'acumulació de radionúclids artificials en aus [Navarro et al., 1998; Marshall et al., 2010; Struminska-Parulskaet al., 2011], però quasi no hi ha bibliografia sobre acumulació de radioactivitat natural en plomes degut a efectes ambientals. Pel motiu exposat anteriorment, és interessant realitzar el present projecte i determinar com es distribueix el  $^{210}\text{Pb}$  en el cos de les aus.

El  $^{210}\text{Pb}$  és àmpliament present en l'ambient terrestre, és un dels últims radionúclids de vida llarga en la desintegració de la cadena de desintegració de l' $^{238}\text{U}$  present a l'escorça de la Terra. La seva presència a l'atmosfera és deguda a la descomposició del  $^{222}\text{Rn}$  que difon des del sòl. El  $^{210}\text{Pb}$  té un temps de residència curt en l'atmosfera ja que es diposita contínuament des de l'atmosfera associat amb els aerosols [El-Daoushy, F., 1988]. El  $^{210}\text{Pb}$  és un dels radiotraçadors més àmpliament utilitzats per traçar diferents processos ambientals.

## 2. OBJECTIUS

L'objectiu principal d'aquest treball és determinar el contingut de  $^{210}\text{Pb}$  en plomes d'aus migratòries i estudiar el seu potencial ús com a traçador de corrents migratòries.

Per tal d'assolir l'objectiu principal, s'han definit uns objectius específics: i) Determinar les concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  en la diferent tipologia de plomes d'aus migratòries; ii) Identificar el tipus de plomes on s'acumula una major concentració de  $^{210}\text{Pb}$ ; iii) Identificar la part de la ploma (barba ample, barba estreta o raquis) on s'acumula una major quantitat de  $^{210}\text{Pb}$ ; iv) Identificar els mecanismes d'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  en plomes

d'ocells; i v) Comparar els nivells d'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  entre individus joves i adults.

## 3. MATERIALS I MÈTODES

### 3.1. APUS APUS

L'espècie utilitzada per a realitzar l'estudi és el falciot comú (*Apus apus*), aquesta és una espècie migradora transsahariana que pertany a la família Apodidae i a l'ordre Apodiformes. La mida mitjana és de 16 – 17 cm i té una envergadura entre 38 i 40 cm.

Una de les característiques anatòmiques sorprenents d'aquesta espècie és l'adaptació anatòmica al vol. Té la cua profundament bifurcada i en forma de falç. És un ocell que s'alimenta exclusivament d'insectes voladors (mosques, àcars...) de forma que la seva activitat nutricional la realitza volant. Degut a les llargues migracions que realitza pot arribar a dormir en ple vol, arribant a alçades lliures d'obstacles i reduint la constància del seu aleteig. El falciot comú té una àmplia distribució, ja que es troba a gran part d'Europa, nord d'Àsia i Àfrica. No el trobarem al sud d'Àsia, Austràlia ni Amèrica. No es considera una espècie en perill d'extinció, ja que segons la IUCN es troba en la categoria de preocupació menor (LC). La migració del falciot es realitza entre el sud d'Àfrica i Europa – Àsia, lloc on es reproduïx i cria els seus polls. *Apus apus* hiverna a Àfrica per sota la línia equatorial.

Els individus joves a diferència dels adults tenen rivets clars en les plomes del cos, ales i cua; la ploma més externa de la cua té la punta més ampla i arrodonida que en l'adult. Els individus adults tenen el cos sense rivets i les plomes de vol són més arrodonides que les dels joves.

Les ales d'*Apus apus* tenen 10 remeres primàries (la més externa molt petita), 8 secundàries (la 9a i 10a s'han quedat reduïdes i s'ometen) i 10 rectrius [Ginn i Melville, 1983] (veure Figura 2). En el cas del falciot comú, totes les mudes es realitzen en les àrees

d'hivernada africanes [Junta Nacional de Anillamiento de Aves, 1981; Pinilla, 2000].



**Figura 2.** Plomes remeres primàries i secundàries individu adult *Apus apus* ala dreta. Font: [www.michelklemann.nl/verensite/apus\\_apus/apapindex.html](http://www.michelklemann.nl/verensite/apus_apus/apapindex.html)

### 3.2. METODOLOGIA DE MOSTREIG

Les mostres necessàries per a l'estudi es van obtenir del Centre de Recuperació de Fauna Salvatge de Torreferrusa. Se'ls va sol·licitar ocells morts que haguessin arribat en el centre i fes com a mínim dos anys de la seva mort. Des del centre de recuperació es facilitaren les ales i rectrius de la cua de tres individus adults d'*Apus apus* (femelles) morts al llarg del maig de 2010 i un individu jove d'*Apus apus* mort al juliol de 2010. Les plomes que ens interessaven varen ser separades en diferents bosses de plàstic i conservades a la nevera. Per a desenvolupar l'estudi s'han utilitzat plomes primàries, secundàries i rectrius tan de l'individu jove com dels adults.

### 3.3. PROCEDIMENT D'ANÀLISI DE $^{210}\text{Pb}/^{210}\text{Po}$

El procediment per a la determinació del  $^{210}\text{Pb}$  es basa en la determinació del  $^{210}\text{Po}$  en equilibri amb el seu progenitor ( $^{210}\text{Pb}$ ).

En les mostres de plomes el  $^{210}\text{Pb}$  i el  $^{210}\text{Po}$  es troben en equilibri secular en el moment de portar-se a terme l'anàlisi degut a que les plomes analitzades van ser recollides fa uns dos anys. Per tant, amb la determinació de l'activitat de  $^{210}\text{Po}$  s'obté directament la de  $^{210}\text{Pb}$ .

El mètode radioquímic utilitzat en aquest treball ha estat desenvolupat en el Laboratori de Radioactivitat Ambiental de la Universitat Autònoma de Barcelona. El mètode es basa en una digestió a vas obert. Per a l'anàlisi es pesa i es talla la ploma en trossets més petits, tot seguit s'hi afegeix àcid nítric ( $\text{HNO}_3$ ) i àcid clorhídric ( $\text{HCl}$ ) concentrats fins a submergir la mostra. S'afegeixen 50  $\mu\text{L}$  del traçador  $^{209}\text{Po}$  ( $A = 0,703 \pm 0,0015 \text{ Bq}\cdot\text{mL}^{-1}$  a dia 04/11/09) i es col·loca la mostra a homogeneïtzar fins que la ploma s'ha digerit. Un cop finalitzada la digestió, es filtren les mostres i es deixen evaporar en una placa calefactora. Un cop evaporada, s'afegeix aproximadament 1 mL d' $\text{HCl}$  concentrat a la mostra i es deixa evaporar altre cop. Aquest procediment es repeteix tres vegades. Un cop evaporada, s'afegeix  $\text{HCl}$  1M a la mostra i es posa a una temperatura de 80  $^\circ\text{C}$ , s'afegeix àcid ascòrbic per tal de complexar el possible ferro present a la mostra. Tot seguit, es submergeix un disc de plata en la mostra entre 6 i 8 hores a 60  $^\circ\text{C}$  amb agitació. En acabar, el disc ja estarà apunt per a ser mesurat per espectrometria alfa (ORTEC). També cal preparar un blanc amb uns 30 mL d' $\text{HNO}_3$ , 30 mL d' $\text{HCl}$  concentrat i 50  $\mu\text{L}$  del traçador,  $^{209}\text{Po}$ . El blanc ens serveix per controlar la possible contaminació de les mostres durant el procés radioquímic.

## 4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

### 4.1. CONCENTRACIONS I DISTRIBUCIÓ DE $^{210}\text{Pb}$ EN LES PLOMES D'*APUS APUS* ADULT

Els resultats de la concentració de  $^{210}\text{Pb}$  en *Apus apus* del present treball es troben recollits a la *Taula 1*. Les plomes primàries (P2, P3 i P4) de les ales dels individus adults és on s'acumula preferiblement el  $^{210}\text{Pb}$ . En les plomes secundàries analitzades (S1 i S2) els nivells de  $^{210}\text{Pb}$  és troben per sota dels llindars mínims de detecció, de manera que es pot concloure que no hi ha presència de  $^{210}\text{Pb}$  en aquesta tipologia de plomes. En les rectrius també hi ha acumulació de  $^{210}\text{Pb}$ , tot i que en

menor quantitat que en el cas de les plomes primàries. S'han analitzat plomes de dos individus adults diferents, no s'ha pogut definir un patró d'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  entre les plomes primàries d'*Apus apus*, ja que en un dels individus la major concentració de  $^{210}\text{Pb}$  es trobava a la P2 i en l'altre hi havia quasi una concentració igual de  $^{210}\text{Pb}$  en la P3 i la P4.

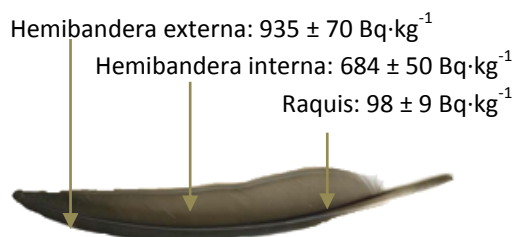
**Taula I.**  $^{210}\text{Pb}$  total en plomes i raquis analitzats en *Apus apus* dult.

Individu	Tipus ploma/Raquis	$^{210}\text{Pb}$ (Bq·kg <sup>-1</sup> )
Adult 1	P2, ala dreta	849 ± 54
Adult 1	P3, ala dreta	1065 ± 71
Adult 1	P4, ala dreta	1064 ± 73
Adult 1	Rectriu	411 ± 31
Adult 1	P3 ala esquerra, hemibandera externa	935 ± 70
Adult 1	P3 ala esquerra, hemibandera interna	684 ± 50
Adult 1	Raquis P3	98 ± 9
Adult 1	P4, hemibandera externa	563 ± 55
Adult 1	P4, hemibandera interna	368 ± 36
Adult 1	Raquis P4	93 ± 8
Adult 2	P2, ala dreta	819 ± 52
Adult 2	P3, ala dreta	484 ± 32
Adult 2	P4, ala dreta	732 ± 52
Adult 2	Rectriu	43 ± 15
Adult	S1, ala dreta	< MDA
Adult	S2, ala dreta	< MDA

<sup>a</sup> MDA: 16,06 Bq·kg<sup>-1</sup>; <sup>b</sup> MDA: 11,27 Bq·kg<sup>-1</sup>

Font: Elaboració pròpia a partir dels valors obtinguts experimentalment.

El  $^{210}\text{Pb}$  no es distribueix uniformement en una ploma primària de falciot comú. On se n'acumula una major quantitat és a l'hemi-bandera externa de la ploma, seguit de la interna i el raquis (veure *Figura 3*).



**Figura 3.** Quantitat de  $^{210}\text{Pb}$  en la P3 de l'ala esquerra d'*Apus apus*. Font: Elaboració pròpia.

S'acumula una major concentració en l'externa ja que tot i ser la més estreta està més exposada a les condicions ambientals externes i pot acumular concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  superiors.

En les plomes secundàries analitzades els nivells de  $^{210}\text{Pb}$  es troben per sota de la mínima activitat detectable (MDA). Aquest fet pot ser degut a que quan els ocells tenen les ales plegades, les plomes secundàries queden més protegides que les primàries, de manera que no tenen tant de contacte amb l'aire.

#### 4.2. CONCENTRACIONS I DISTRIBUCIÓ DE $^{210}\text{Pb}$ EN LES PLOMES D'*APUS APUS* JOVE

En el cas de l'individu jove totes les mostres analitzades, ja siguin plomes primàries o secundàries, es troben per sota dels límits de detecció (*Taula II*), de manera que es pot afirmar que no hi ha presència de  $^{210}\text{Pb}$ . Aquest fet pot ser degut principalment a que els individus joves romanen en el niu fins que aprenen a volar, de manera que tindran menys contacte amb les partícules de  $^{210}\text{Pb}$  presents en l'aire. Els resultats obtinguts concorden amb l'afirmació feta per *Dawue et al.* (2002), s'espera que la contaminació externa de les plomes dels individus joves sigui molt més baixa que en les plomes dels adults.

**Taula II.**  $^{210}\text{Pb}$  total en plomes de l'*Apus apus* jove.

Tipus ploma	$^{210}\text{Pb}$ (Bq·kg <sup>-1</sup> )
P2, ala dreta	<MDA <sup>a</sup>
P2, ala esquerra	<MDA <sup>b</sup>
S1, ala esquerra	<MDA <sup>c</sup>
S2, ala esquerra	<MDA <sup>d</sup>

<sup>a</sup> MDA: 5.75 Bq·kg<sup>-1</sup>; <sup>b</sup> MDA: 3.34 Bq·kg<sup>-1</sup>; <sup>c</sup> MDA: 22.60 Bq·kg<sup>-1</sup>; <sup>d</sup> MDA: 23.34 Bq·kg<sup>-1</sup>

Font: Elaboració pròpia a partir dels valors obtinguts experimentalment.

No s'han trobat dades publicades sobre l'activitat de  $^{210}\text{Pb}$  en plomes d'individus adults ni joves d'*Apus apus* ni en cap altre tipus d'au amb els quals poder comparar els resultats obtinguts. Veient aquesta manca de dades amb les quals comparar els resultats obtinguts estem d'acord amb *Jones et al.* (2003), qui afirmà que existeix una manca de dades sobre radionúclids naturals presents en els ecosistemes terrestres.

### 4.3. MECANISMES D'ACUMULACIÓ DE $^{210}\text{Pb}$ EN

En general la presència de radionúclids com el  $^{210}\text{Pb}$  i el  $^{210}\text{Po}$  a l'atmosfera es deu a la continua emanació de  $^{222}\text{Rn}$  provinent de l'escorça terrestre cap a l'atmosfera. Tanmateix, hi ha fonts antropogèniques de  $^{210}\text{Pb}$  i  $^{210}\text{Po}$  (p.e. fosfats dels fertilitzants, centrals elèctriques que cremen combustibles fòssils, producció de plom, fabricació de ciment [*Moore et al.*, 1976]). És important destacar que el  $^{210}\text{Pb}$  genera  $^{210}\text{Po}$ , i per tant en molts dels estudis realitzats on s'estudia l'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  també es poden detectar elevades concentracions de  $^{210}\text{Po}$  (p.e. *Skwarzec i Fabisiak*, 2007).

Per tal de determinar quin és el mecanisme d'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  en les aus cal considerar totes les possibles entrades d'aquest radionúclid al organisme. Segons *Gwynn et al.* (2010) existeixen tres possibles vies d'incorporació de  $^{210}\text{Pb}$  en ocells: incorporació durant la formació de la ploma, deposició directa de l'atmosfera o via l'oli secretat per la glàndula uropigial.

*i) Incorporació de  $^{210}\text{Pb}$  durant la formació de la ploma.* El fet de que es pugui incorporar  $^{210}\text{Pb}$  a través de l'alimentació podria estar relacionat amb la incorporació de Pb estable ( $^{206}\text{Pb}$ ,  $^{207}\text{Pb}$ ,  $^{208}\text{Pb}$ ,  $^{204}\text{Pb}$ ) a través de la ingestió. Segons *Cardiel et al.* (2010) les aus poden estar letalment exposades al plom a través de la ingestió d'aquest element. Si la presència de  $^{210}\text{Pb}$  fos deguda a la

incorporació durant la formació de la ploma s'hauria de veure una quantitat de  $^{210}\text{Pb}$  similar en totes les plomes, i en el cas de les mostres analitzades en el present projecte les mostres tenen quantitats de  $^{210}\text{Pb}$  diferents. És per aquest motiu, que es pot afirmar que la presència de  $^{210}\text{Pb}$  en les plomes de les aus no és deguda a aquesta via d'incorporació.

*ii) Deposició directa de l'atmosfera:* Considerant que el flux de  $^{210}\text{Pb}$  en el Mediterrani és de  $80 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{a}^{-1}$  [*Garcia-Orellana et al.*, 2006] i una ploma primària de falciot comú té unes dimensions aproximades de  $9.52\cdot 10^{-4} \text{ m}^2$  (6.8 cm x 1.4 cm) i tenint en compte una vida d'un any, implicaria que la concentració en una ploma per deposició atmosfèrica hauria de ser de  $9.901\cdot 10^{-7} \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  (tenint en compte el pes promig de les plomes analitzades = 0.013 g). Aquest és un valor molt inferior als valors de  $^{210}\text{Pb}$  mesurats en les plomes d'*Apus apus*. Per tant, la deposició directe de  $^{210}\text{Pb}$  sobre les ales tampoc seria el mecanisme que explicaria l'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  en les plomes d'*Apus apus*.

*iii) Oli secretat per la glàndula uropigial.* Segons *Pilastro et al.* (1993) la contaminació externa en un organisme pot dependre també de l'absorció intestinal del metall que es troba en el menjar i excreció d'aquest a través de la glàndula uropigial. Aquest procés pot donar lloc a la contaminació de les plomes pel metall en qüestió. Segons els resultats de l'estudi elaborat per *Pilastro et al.* (1993), sembla ser que els metalls que s'ingereixen per aquesta via no van a parar a les plomes, de manera que no sembla ser un mecanisme important de contaminació. A través de l'afirmació feta per *Pilastro et al.* (1993), es podria també descartar el paper de la glàndula uropigial en l'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  en les aus. La contaminació amb oli procedent de la glàndula uropigial podria jugar un paper important en quan a la contaminació externa causada per compostos organoclorats, ja que aquests són compostos lipofílics i tenen la

capacitat d'acumular-se en elevades concentracions en les secrecions olioses [Yamashita et al., 2007].

Així doncs, cap de les vies esmentades anteriorment explica les altes concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  en plomes d'*Apus apus*. L'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  en les ales d'ocells migratoris és deguda a l'adsorció del  $^{210}\text{Pb}$  present a l'aire. Garcia-Orellana et al. (2006) analitzaren mostres de deposicions humides amb diverses quantitats de pols del Sàhara en mostres recollides a l'estació de La Castanya – Montseny. El rang de  $^{210}\text{Pb}$  detectat en les mostres oscil·la entre 390 i 9700 Bq·kg<sup>-1</sup>. El valor mitjà de concentració de  $^{210}\text{Pb}$  present en la pols del Sàhara és de 4200±1500 Bq·kg<sup>-1</sup>. Les partícules fines d'aerosols transportades pels corrents d'aire des del desert del Sàhara fins a la zona de la Mediterrània arrosseguen el  $^{210}\text{Pb}$  present a l'atmosfera provinent de la desintegració del  $^{222}\text{Rn}$ , incrementant significativament la seva concentració amb  $^{210}\text{Pb}$  en els aerosols, fet que provoca un increment del flux atmosfèric de  $^{210}\text{Pb}$ . En canvi en el cas de les plomes d'*Apus apus*, les concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  oscil·len entre 43 i 1065 Bq·kg<sup>-1</sup>. En aquest cas la concentració mitjana de  $^{210}\text{Pb}$  en les plomes d'*Apus apus* adults és de 586±43 Bq·kg<sup>-1</sup>.

Tot i que el procés d'escombrat de  $^{210}\text{Pb}$  de l'atmosfera és el mateix per les plomes que per la pols del Sàhara, la concentració en pols és significativament més alta. La diferència de concentracions entre el  $^{210}\text{Pb}$  present a les plomes i a la pols pot ser deguda al fet de que la superfície específica de contacte amb l'atmosfera és menor en el cas de la ploma que la pols del Sàhara i per l'efecte aerodinàmic del vol de l'*Apus apus*. Com que la principal via d'acumulació de  $^{210}\text{Pb}$  a la ploma de l'ocell és doncs per contacte directe amb l'aire que l'envolta, les concentracions es relacionen amb l'edat de la ploma i no amb l'edat de l'individu. En les plomes que muden

primer hi haurà una menor concentració de  $^{210}\text{Pb}$ .

#### 4.4. AVALUACIÓ DELS NIVELLS DE RADIOACTIVITAT EN LES AUS

Alhora d'avaluar els nivells de radioactivitat en les aus és molt important tenir en compte el moment en el qual l'au muda les seves plomes, ja que segons Wilhm (1970) durant la muda les aus poden perdre la meitat dels radionúclids absorbits i adsorbits. Struminska-Parulska et al. (2011) afirmaren en el seu estudi que la muda és un procés important que influeix en el contingut de radionúclids en les aus. Segons Krumholz (1954) s'observen diferències importants en les concentracions de radionúclids en ocells que migren i altres que sempre resideixen en el mateix indret.

Gwynn et al. (2010) estudiaren mostres de muscle i plomes de tres espècies diferents d'aus marines (*Rissa tridactyla*, *Alle alle* i *Somateria mollissima*) de l'Àrtic amb la finalitat de determinar si existeix relació entre l'activitat de  $^{210}\text{Po}$  en el muscle i les plomes de cadascuna de l'au. En les plomes analitzades varen detectar-se concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  força elevades compreses entre  $1.14 \pm 0.53$  i  $254 \pm 29$  Bq·kg<sup>-1</sup> (p.s.). Els nivells més elevats de  $^{210}\text{Pb}$  es trobaren a la part superior de la ploma i els nivells més baixos al raquis. Aquests resultats, concorden amb els trobats per nosaltres, on es detectaren nivells baixos en el raquis i majors en les hemibanderes. El motiu principal que explica aquesta diferència és que els ocells de l'Àrtic no són espècies migratòries i pel fet de que a l'Àrtic les concentracions de radó i per tant de  $^{210}\text{Pb}$  a l'atmosfera són molt poc significatius. Això implica que la disponibilitat de  $^{210}\text{Pb}$  a l'atmosfera sigui baixa i per tant la concentració d'aquest element en les plomes dels individus analitzats és i baixa.

Navarro et al. (1998) varen mesurar nivells de radioactivitat presents en aus migratòries vuit anys després de l'accident de Txernòbil (1986) a la comunitat Valenciana. No varen trobar-se diferències significatives en els nivells de contaminació entre individus de diferent sexe i edat.

Skwarzec i Fabisiak (2007) mesuraren nivells de radioactivitat en diferents tipus d'aus marines sedentàries, hivernants o migratòries del mar Bàltic. Mesuraren el  $^{210}\text{Po}$  en diferents teixits i òrgans; els resultats els indicaren que aquest no es distribueix uniformement en els òrgans i teixits de les aus marines. Les concentracions més elevades de  $^{210}\text{Po}$  varen ser observades en les plomes (els valors van de  $0.47 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  (p.h.) a  $5.70 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  (p.h.)). El segon òrgan on hi hagué una major acumulació de  $^{210}\text{Po}$  fou el fetge. Aquestes concentracions de  $^{210}\text{Po}$  baixes s'expliquen degut a que la concentració de  $^{210}\text{Po}$  a l'atmosfera és molt baixa i per tant la seva acumulació en les plomes també és baixa.

Marshall et al. (2010) mesuraren els nivells de radioactivitat artificial presents en diverses espècies d'aus en àrees d'especial protecció al nord-est d'Anglaterra. Es calcularen els nivells de radioactivitat presents en teixits i plomes d'ocells, sediments i vegetació. En la majoria de casos es detectaren nivells de  $^{137}\text{Cs}$  en plomes d'aus molt baixos (p.e:  $0.071 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ ) amb comparació a les concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  que nosaltres trobem en les plomes dels falciots comuns analitzats (valors compresos entre  $43 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  (p.s.) i  $1065 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$  (p.s.)).

En un estudi elaborat per Struminska-Parulska et al. (2011) es calcularen els nivells de Pu acumulats en les aus marines del nord de la costa del Mar Bàltic. Les conclusions extretes foren que la bioacumulació del Pu depèn de la concentració en l'aliment però també de la concentració de plutoni present en l'ambient. Les concentracions de plutoni

trobades decreixen el següent ordre: fetge, viseres, plomes, esquelet, pell i múscles.

## 5. CONCLUSIONS

Aquest treball mostra com les plomes d'ocell actuen com a filtradors d'aire i per tant acumulen  $^{210}\text{Pb}$  present a l'atmosfera provinent de la desintegració del  $^{222}\text{Rn}$ . Les concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  oscil·len entre 43 i  $1065 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ , amb una concentració mitjana de  $586 \text{ Bq}\cdot\text{kg}^{-1}$ . Els nivells més elevats de  $^{210}\text{Pb}$  en els individus analitzats es troben en les plomes primàries de les ales dels diferents individus, ja que aquestes són les plomes que estan amb un major contacte amb l'aire quan volen. De manera que les partícules de  $^{210}\text{Pb}$  presents a l'atmosfera són arrossegades per les ales de les aus i queden adsorbides a les plomes. En les plomes secundàries no es detecten nivells de  $^{210}\text{Pb}$ , això pot ser degut al fet que les plomes secundàries queden tapades per les primàries. Quan les ales estan tancades, les secundàries queden tapades per les primàries, aquest motiu també explica uns nivells de  $^{210}\text{Pb}$  menors. La principal conclusió que és pot extreure és que el  $^{210}\text{Pb}$  no és distribueix homogèniament entre i dins les plomes, aquest radionúclid s'acumula principalment en les plomes primàries i en les rectrius dels individus adults d'*Apus apus* dins la ploma, la major concentració s'observa al hemibandera externa.

Una altra de les conclusions extretes és que els individus adults d'*Apus apus* acumulen majors concentracions de  $^{210}\text{Pb}$  en les seves plomes que els individus joves. Això és degut a que els individus joves analitzats no han tingut temps de realitzar cap vol migratori.

El fet de detectar  $^{210}\text{Pb}$  només en les plomes primàries de l'ala i que les plomes secundàries no en tinguin implica que la incorporació de  $^{210}\text{Pb}$  a l'ocell és via deposició



atmosfèrica i no via dieta. Aquesta afirmació està també corroborada pel fet de que la concentració de  $^{210}\text{Pb}$  en el raquis de la ploma també és molt baixa.

En el nostre cas la seqüència de la muda no està correlacionada amb la concentració de  $^{210}\text{Pb}$  a les plomes, ja que en *Apusapus* la muda de les remeres primàries es realitza de forma descendent, és a dir, començant per les més internes i cap a les més externes. Si estès correlacionada la major concentració de  $^{210}\text{Pb}$  hauria de ser en les que muden més tard.

## AGRAÏMENTS

A en Jordi Garcia-Orellana per donar-me la oportunitat de realitzar el projecte, a la gent del LRA de la UAB, en Carles i a la Sara, al Centre de Recuperació de Fauna Salvatge de Torreferrusa, i en general a tota la gent que ha fet possible la realització del present treball.

## REFERÈNCIES

Bunce, R.G.H., Barr, C.J., Whittaker, H.A. (1981). An Integrated System of Land Classification. Annual Report Institute of Terrestrial Ecology, pp. 28–33.

Burrough, P.A. (1986). Principles of Geographical Information System for Land Resources Assessment. Monographs on Soil and Resources Survey No. 12 Oxford University Press, Oxford.

Cardiel, I., E., Taggart, M.A. i Mateo, R., 2010. Using Pb–Al ratios to discriminate between internal and external deposition of Pb in feathers. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74, 911-917.

Carvalho, F.P. (2011). Polonium ( $^{210}\text{Po}$ ) and lead ( $^{210}\text{Pb}$ ) in marine organisms and their transfer in marine food chains. *Journal of Environmental Radioactivity* 102; 462-472.

Dauwe, T., Bervoets, L., Pinxten, R., Blust, R. i Eens, M. (2003). Variation of heavy metals within and among feathers of birds of prey: effects of molt and external contamination. *Environmental Pollution* 124, 429-436.

Dauwe, .T, Jaspers, V., Covaci, A., Schepens, P., Eens, M. (2005). Feathers as a non destructive biomonitor for persistent orgànic pollutants. *Environ. Toxicol. Chem.* 24, 442–9.

El-Daoushy, F. (1988). A summary of the lead-210 cycle in nature and related applications in Scandinavia. *Environmental International* 14, 305-319.

Garcia-Orellana, J. Sanchez-Caberza, J.A., Masqué, P., Àvila, Costa, E., Loÿe-Pilot, M.D. and Bruach-Menchén, J.M. (2006). Atmospheric fluxes of  $^{210}\text{Pb}$  to the western Mediterranean Sea and the Saharan dust influence. *Journal of Geophysical Research*. VOL.111,D15305,doi:10.1029/2005JD006660.

Ginn, H. B. y Melville, D. S. 1983. Molt in birds. BTO Guide nº 19. British Trust for Ornithology. Hertfordshire.

Gwynn, J., Holm, E., Zaborska, A. i Gäfvert, T. (2010). Hair and feathers as indicator of internal contamination of  $^{210}\text{Po}$  and  $^{210}\text{Pb}$ . Final Report from the NKS-B HAIRPOL activity (Contract: AFT/B(08)9). Pag 16-23.

Haila, Y. (1985). Birds as a tool in reserve planning. *Ornis Fennica* 62, 96–100.

Jaspers V.L.B., Voorspoels, S., Covaci, A. i Eens, M. (2006). Can predatory bird feathers be used as a non-destructive biomonitoring tool of orgànic pollutants?. *BiolLett*; 2, 283–5.

Jones, S.R., Patton, D., Copplestone, D., Norris, S., O’Sullivan, P. (2003). Generic performance assessment for a deeprepository for low and intermediate level waste in the UK – a case study in assessing radiological impacts on the natural environment. *J. Environ. Radioact.* 66, 89–119.

Junta Nacional de Anillamiento de Aves, 1981. Elementos básicos para estudios de muda en aves. Madrid, 1981.

Keast, A. (1990). Biogeography and Ecology of Forest Bird Communities. SPB Academic.

Krumholz, L.A. (1954). A Summary of Findings of the Ecological Survey of White Oak Creek, Roane County, Tennessee, 1950e1953, Tennessee Valley Authority, vol. III. USAEC, Oak Ridge, Tennessee. ORO-587.

Marshall, K., Watson, S., McDonald, P., Copplestone, D. i Watts, J. (2010). Exposure of birds to radionuclides an dother contaminants in Special Protection Areas (SPAs) in North-West England. Science of the Total Environment 408, 2567–2575.

Moore, H. E., Martell. E. A. i Poet, S. E. (1976). Sources of  $^{210}\text{Po}$  in the atmosphere. Envir. Sci. Technol. 10, 586.

Movalli, P.A. (1999). Heavy metal and other residues in feathers of laggar falcon (*Falco biarmicus jugger*) from six districts of Pakistan. Environmental Pollution 109, 267-275.

Navarro, E., Roldán, C., Cervera, J., Ferrero, L. (1998). Radioactivity measurements on migrating birds (*Turdus philomelos*) captured in the Comunidad Valenciana (Spain). The Science of the Total Environment 209, 143-147.

Ortega, X. i Jorba, J.(1994). Radiaciones ionizantes: Utilización y riesgos. Segona edició. Edicions UPC.

Petty, S.J. i Avery, M.I. (1990). Forest Bird Communities. Occasional Papers 26. Forestry Commission, Edimburgh.

Pilastro, A., Congiu, L., Tallandini, L. i Turchetto, M. (1993). The use of bird feathers for the monitoring of cadmium pollution. Arch Environ Contam Toxicol; 24: 355–8.

Struminska-Parulska, D. I. , Skwarzec,B. i Fabisiak, J. (2011). Plutonium bioaccumulation in seabirds. Journal of Environmental Radioactivity 102, 1105-1111.

Skwarzec, B. i Fabisiak, J. (2007). Bioaccumulation of polonium  $^{210}\text{Po}$  in marine birds. Journal of Environmental Radioactivity 93, 119-126.

Wilhm, J.L., (1970). Transfer of radionuclides between detritus and benthic macroinvertebrates in laboratory microecosystems. Health Phys. 18, 277-284.

Wiens, J.A. (1989). Landscape interactions, scaling and ecosystem Dynamics dkjdot. In: Proceedings of the Fourth Annual Landscape Symposium, Colorado State University.

Yamashita, R., Takada, H., Murakami, M., Fukuwaka, M., Watanuki, Y. (2007). Evaluation of noninvasive approach for monitoring PCB Pollution of Seabirds Using Preen Gland Oil. Environ Sci Technol 41 (14): 4901–4906.