

**MEMÒRIA DE L'EXCAVACIÓ PALEONTOLÒGICA DUTA A TERME AL JACIMENT DEL CRETACI  
SUPERIOR DE L'ESPINAU (LES AVELLANES I SANTA LINYA, ÀGER, LA NOGUERA) ENTRE ELS  
ANYS 2012 I 2013**

---

Víctor Fondevilla Moreu

(Universitat Autònoma de Barcelona - Unitat d'Estratigrafia, Departament de Geologia)

Novella L. Razzolini

(Institut Català de Paleontologia "Miquel Crusafont")

Dr. Àngel Galobart Lorente

(Institut Català de Paleontologia "Miquel Crusafont")



## **Introducció**

A Catalunya, el registre fòssil de vertebrats del Cretaci superior es concentra en les àrees del Pirineu, concretament en les comarques del Berguedà, La Noguera, l'Alt Urgell i el Pallars Jussà. Avui dia el coneixement prové de nombrosos jaciments que han estat excavats durant les darreres tres dècades per equips d'investigadors vinculats principalment a l'Institut de Paleontologia Miquel Crusafont.

Des de l'any 2002, el Departament de Recerca del Mesozoic d'aquest mateix institut ha desenvolupat el "Projecte de recerca dels jaciments paleontològics del trànsit Cretaci/Paleogen del Prepirineu català: sistemàtica, paleoecologia i implicacions paleobiogeogràfiques" en jaciments de cadascuna d'aquestes comarques. S'han realitzat més d'una quarantena d'intervencions paleontològiques que engloben treballs de prospecció i catalogació de nous jaciments, cartografies, mostreig i excavacions en diverses localitats fòssilíferes. L'estudi de totes aquestes restes fòssils ha contribuït d'una manera molt significativa al coneixement dels vertebrats fòssils del Cretaci englobant múltiples aspectes del coneixement com són la icnologia, l'oologia, la paleobotànica, les faunes de vertebrats i invertebrats, la sedimentologia, la conservació de jaciments, etc.

La recerca s'ha concentrat principalment en les conques de Tremp, Vallcebre i Coll de Nargó, essent les àrees de La Noguera i de l'oest del Pallars Jussà sovint les més desconegudes. A la comarca de La Noguera, en els darrers dos anys s'han realitzat treballs de prospecció paleontològica i excavació a l'àrea de Les Avellanes-l'Embassament de Canelles i al jaciment de L'Espinau. Amb l'estudi d'aquest jaciment, presentat en aquesta memòria, s'amplia el coneixement sobre els darrers dinosaures d'Europa pel que fa a on van viure i com van ser els processos que els han permès fossilitzar i conservar-se fins els nostres dies.

## **Antecedents: Motius i objectius de la intervenció**

A l'octubre de 2010 es va iniciar l'excavació al jaciment amb l'objectiu de recuperar les restes fòssils que afloraven al tall del jaciment, a tocar d'un camp de cereals i d'avaluar la seva riquesa i potencial.

La primera actuació en forma d'excavació paleontològica a la localitat de L'Espinau, al municipi d'Àger i proper al poble de Tartareu (La Noguera), va permetre al any 2010 recuperar més d'una seixantena de peces fòssils i al any 2011 més de cent ossos de dinosaures hadrosaures. Els resultats satisfactoris que se'n van obtenir van empènyer els investigadors del Departament de Recerca del Mesozoic de l'Institut Català de Paleontologia "Miquel Crusafont" i de la Unitat d'Estratigrafia del Departament de Geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona a continuar-hi l'excavació els anys 2012 i 2013. En aquests 4 primers anys d'intervenció es van recuperar un total de 536 ossos de dinosaure hadrosaure.

## **Notícies històriques**

La comarca de La Noguera és ben coneguda en l'àmbit de la recerca paleontològica per la presència de restes fòssils de vertebrats del Cretaci (vegeu, per exemple, els treballs de Llompart 1979; Llompart i Krauss, 1982; Casanovas i Santafé, 1993; López-Martínez 2000; López-Martínez et al. 1998a, b, 1999), incloent petjades, ous i ossos. No obstant, fins a mitjans de 2010 no es coneixien notícies històriques de la localitat de L'Espinau. Les úniques informacions provenien dels senyors Lluís Garrofé i Ciscu, veïns de Tartareu. Ells van informar

el Sr. Antoni Lacasa de l'Institut d'Estudis Ilerdencs sobre la presència de fragments d'ossos a la zona propera al Corral del Canut, indret conegut com L'Espinau.

### Situació geogràfica del jaciment

La localitat de l'Espinau es troba situada a l'extrem sud-oest del municipi d'Àger, a la comarca de La Noguera (Lleida). El punt fòssilífer es troba a la vora d'un camp de conreu al nord del poble de Tartareu (figura 1), on hi afloraven inicialment les restes fòssils.



Figura 1. Situació geogràfica del jaciment de l'Espinau. La fletxa vermella indica la posició del jaciment. Base cartogràfica 1:250.000. Institut Cartogràfic de Catalunya ([www.icc.cat](http://www.icc.cat))

### Situació geològica del jaciment

La localitat de L'Espinau pertany a la Formació Tremp, concretament al seu tram mitjà. Aquesta formació geològica, que s'estén al llarg de tot el Pirineu meridional català en diversos sinclinals, presenta una edat de Cretaci superior. La formació té en els diversos sinclinals una potència variable i una edat de Maastrichtià, Danià i Tanetià abraçant per tant el límit Cretaci/Paleogen (Rosell et al., 2001). Així, la part inferior de la formació presenta edat cretàica mentre que la part superior, per damunt de les conegudes Calcàries de Vallcebre, té ja una edat paleògena. Litològicament, la formació pot ser dividida en diverses unitats locals que contenen nivells de calcàries margoses, calcàries lacustres amb caròfits, margues, gresos ataronjats amb bioturbació, lutites roges i violades i nivells de microconglomerats, entre d'altres.

### Litologia de la successió de l'Espinau

El jaciment està inclòs en la successió següent (figures 2 i 3):

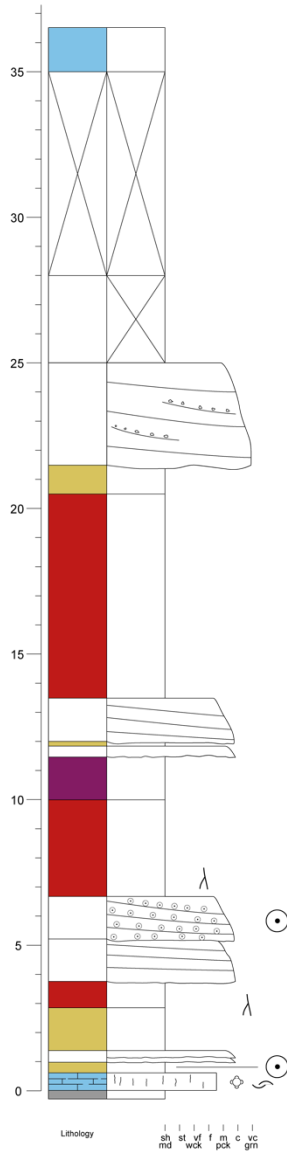
1. A la base, i formant part del camp de conreu vora el jaciment, afloren materials ocres amb granulometria variable, des d'argila fins a sorra molt fina. Aquesta litologia està

dipositada sobre uns nivells calcaris equivalents de la Fm La Massana, d'origen lacustre (Villalba-Breva et al., 2012). Dispersos pel camp, s'han identificat oncòlits d'entre 10-15 cm de diàmetre.

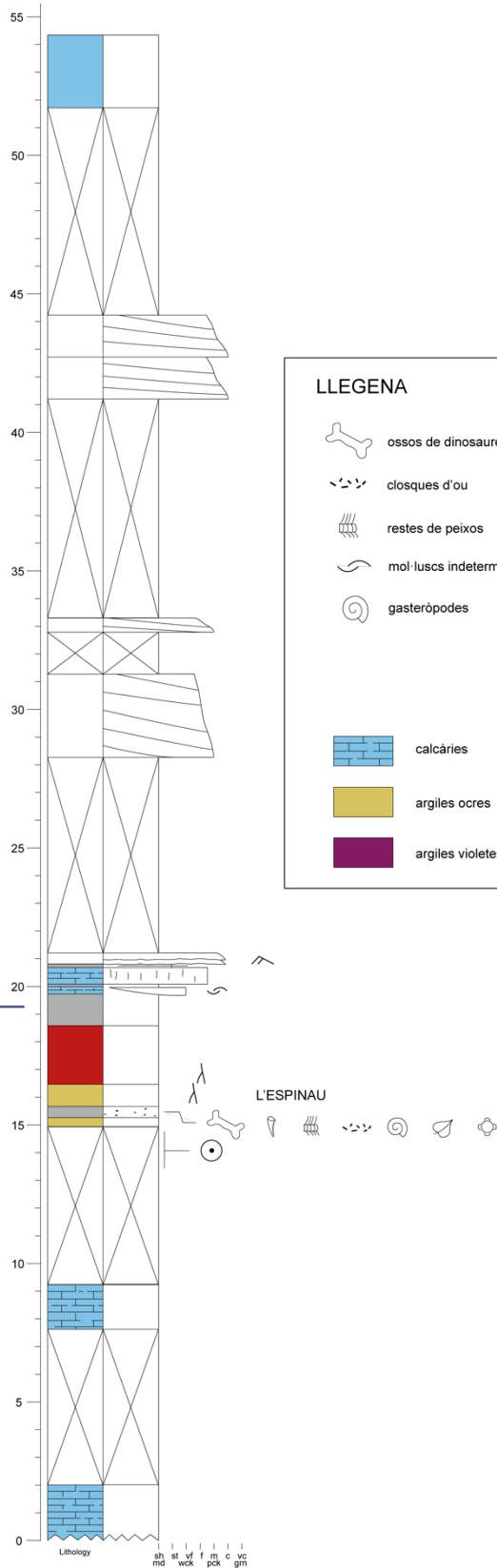
2. Sobre aquestes primer nivell, hi ha depositat un nivell de 40-50 cm d'argiles grises amb matèria orgànica carbonitzada, on sovint s'hi reconeixen estructures vegetals, i concrecions de carbonat. No s'hi observen canvis de granulometria ni estructures sedimentàries. Alhora, aquest nivell presenta ossos de dinosaure, els quals apareixen en un gran rang de mides: des de menys d'1 cm fins a 70 cm. Aquests ossos presenten pàtines o concrecions carbonatades de naturalesa similar a la resta de concrecions que presenta el nivell. A més, s'hi han identificat caròfits, closques d'ou, petits ossos de cocodril i gasteròpodes.
3. Aquestes argiles grises passen de forma transicional a unes altres de color ocre. La transició mostra signes de *mottling*, uns canvis de coloració associats a l'activitat de plantes. Alguns ossos apareixen en aquest nivell, però en una menor concentració que en el nivell infrajacent.
4. Depositat sobre el nivell ocre, apareixen 70 cm d'argiles vermelles amb *mottling* de color ocre. Hi apareixen nòduls edàfics de forma dispersa.
5. Sobre el nivell anterior, hi ha un nivell massiu de 1,5 m d'argiles grises.
6. Seguint la successió, a uns 20 metres al sud del jaciment, apareixen dos nivells de calcàries, el primer d'ells d'uns 20 cm i un altre de 50 cm, amb bioclasts atribuïbles a bivalves.
7. Finalment, la successió esdevé una alternança de gresos grollers amb granulometria granodecreixent i argiles vermelloses fins arribar a un nivell calcari interpretat com a l'equivalent lateral de les calcàries terciàries que apareixen a la secció de Fontllonga, al sinclinal d'Àger. Malgrat aquest grup d'estrats assoleix uns 30 m de potència, no presenta un bon aflorament en l'àrea d'estudi, de manera que no s'han pogut estudiar amb més detall. Equivalen a la "unitat vermella" de la Formació Tremp, d'edat Maastrichtiana (Rosell et al., 2001)

D'aquesta manera, en la successió que conté el jaciment s'hi poden identificar les mateixes unitats que afloren a la secció de la Carretera del Doll-Fontllonga (veure fig.). Els nivells argilosos i calcàries que conformen els nivells 1 a 7 s'ubicarien a la transició entre les calcàries de la Fm La Massana i la "unitat vermella inferior" de la Fm Tremp.

### Torrent de l'Espinau



### L'Espinau



#### LLEGENA

- |  |                         |  |                   |
|--|-------------------------|--|-------------------|
|  | ossos de dinosaure      |  | caròfits          |
|  | cloques d'ou            |  | restes de plantes |
|  | restes de peixos        |  | mottling          |
|  | mol·luscs indeterminats |  | oncòlits          |
|  | gasteròpodes            |  | ripples           |

- |  |                  |  |                   |
|--|------------------|--|-------------------|
|  | calcàries        |  | argiles grises    |
|  | argiles ocres    |  | argiles vermelles |
|  | argiles violetes |  | gresos            |

Figura 2: Columna estratigràfica del jaciment de l'Espinau i de la secció equivalent del Torrent de l'Espinau.



Figura 3: Front d'excavació on s'hi identifiquen el nivell fossilífer gris, la transició cap al nivell suprajacent ocre, i finalment el nivell vermell. Comparar amb la figura 2.

## **Resultats**

### **Sistemàtica**

Com a primer pas per a efectuar un estudi exhaustiu dels processos tafonòmics que han actuat en els ossos del jaciment ha estat necessària una classificació sistemàtica dels fòssils. Els treballs de investigadors de l'Institut Català de Paleontologia i altres (Prieto-Marquez et al., 2006; Gaete et al., 2007; Martín et al., 2007; Dalla Vecchia, 2009; Prieto-Marquez et al., 2013) ajuden a incloure els ossos de l'Espinau en la següent sistemàtica:

DINOSAURIA Owen, 1842

ORNITHISCHIA Seeley, 1888

ORNITHOPODA Marsh, 1881

HADROSAURIDAE Cope, 1969

Hadrosauridae indet. (*sensu* Weishampel et al., 1993)

Els principals ossos que han permès confirmar aquesta classificació són una mandíbula amb dents i diverses dents aïllades, un húmer amb cresta deltopectoral amb forma sub-triangular des de l'extremitat proximal fins a la meitat de la longitud total de l'os, un fèmur amb un solc profund inter-condiloïdeu, una tibia amb dos còndils molt distingibles en l'extremitat proximal i un tercer còndil que es desenvolupa en continuïtat amb el central (figura 4).

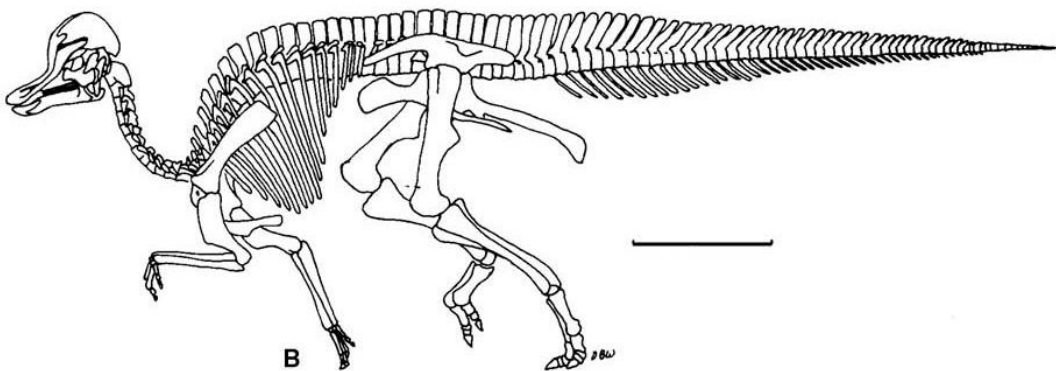


Figura 4: Exemple de hadrosaure lambeosaurí. Escala 1 metre.



Figura 5: Dentari d'hadrosaure ESP-122 durant la intervenció de l'any 2011. S'observen els alvèols on s'hi inserien les dents.

### **Nombre mínim d'individus**

En el jaciment de l'Espinau s'han recuperat un total de 536 ossos, dels quals més del 70% són assignables a la família Hadrosauridae, amb fragments de crani, escàpules, húmer, tíbies, fèmurs, parts de la cintura pèlvica, vèrtebres i metàpodes. S'ha fet servir el mètode del MNI o *Minimum Number of Individuals* (Eberth et al., 2007b), el qual es basa en les anàlisis dels elements esquelètics distingibles i més representats. Entre els ossos llargs s'han identificat 4 húmer, 3 fèmurs, 7 tíbies, 2 fíbules. Considerant les tíbies, que conformen l'os llarg més nombrós del jaciment, ha observat que:

- dues tíbies amb mida comparable representen una esquerra i una dreta, significat que podrien pertànyer al mateix individu;
- dues tíbies són més petites respecte a les altres i no es poden comparar entre sí: pertanyen a dos individus diferents
- les altres tres tíbies pertanyen com a mínim a altres dos individus, per ser almenys dues d'elles del mateix costat de l'animal

Per tant, al jaciment de l'Espinau hi ha representats 5 individus diferents. Aquesta observació permet entendre el tipus de dipòsit fossilífer. Seguint la definició proposada per Rogers i Kidwell (2007), un dipòsit fossilífer constituït per una concentració relativa de parts esquelètiques de vertebrats conservades en una àrea restringida o en una unitat sedimentària estratigràficament limitada i derivades per la mort de més d'un individu, es defineix com a "*bonebed*".

Rogers (1990) i Eberth et al. (2007a) divideixen el *bonebeds* en monotàxic (constituït per elements de dos o més individus de la mateixa espècie), paucitàxic (inclou també amb restes de altres espècies en menor quantitat) i multitàxic (constituït per restes de tres o més espècies).

L'Espinau es pot definir com a *bonebed* monotàxic de forma preliminar, a l'espera que noves troballes aportin més informació.

### **Microfauna associada**

Durant les campanyes d'excavació es van recollir diversos quilograms de sediment gris del nivell fossilífer. El sediment es va rentar i tamisar en 63 µm en els laboratoris de l'Institut Català de Paleontologia, eliminant tota fracció fina (argiles i llims).

Dels tamisats es van recuperar caròfits i els seus oogonis, ostràcodes, gasteròpodes, fragments de closques d'ou de dinosaure sauròpode i teròpode (Sellés et al., 2014), fragments de dents i ossos de dinosaures, cocodrils i amfibis (Blanco i Bolet, 2014).

Dels gasteròpodes recuperats (figura 6), gràcies a la comparació amb la literatura (Moore, 1960), s'han pogut identificar les famílies de Clausiliidae, Hydrobiidae, Lymneidae i Planorbidae, les quals normalment es troben en ambients continentals, terrestres i d'aigües internes. D'aquestes famílies, Hydrobiidae és característica d'ecosistemes d'aigües permanents, Lymnaeidae i Planorbidae d'ambients lacustres amb poca profunditat. Aquests dos ambients suggereixen un retraballament i acumulació al jaciment. Les microfaunes



associades trobades en el jaciment no determinen amb precisió el tipus de ambient caracteritzat a l'Espinau.



Figura 6: Gasteròpodes obtinguts mitjançant triatge de sediment.

### **Planimetria**

Mitjançant una Estació Total Trimble 2000 es van georeferenciar els fòssils abans de ser extrets, cosa que ha permès elaborar una cartografia del jaciment. Aquest procediment va consistir en assignar una sèrie de punts durant les campanyes de camp, resseguint el contorn dels ossos. Per fer això ha estat necessari processar les dades espacials de cada os (longitud, latitud i altitud o  $x$ ,  $y$ ,  $z$ ). Mitjançant el software Menu2000v1.4.4 de AL-TOP TOPOGRAFIA, S.A. (Barcelona), amb el qual s'ha obtingut un fitxer .txt. Aquest fitxer es va importar amb format .dxf al software RHINOCEROS 4.0, projectant només les coordenades  $x$  i  $y$ . Finalment, aquesta projecció en el pla  $xy$  es va treballar amb el software Adobe Illustrator CS6 per a l'assignació del nom de cada os (ESP-XXX) i el dibuix dels contorns dels ossos. Aquesta planimetria presenta tots els fòssils recuperats entre els anys 2010 i 2012 (figura 7)



Figura 7: Planimetria del jaciment de l'Espinau. Verd (66 ossos, 2010), rosa (129 ossos, 2011), blau (173 ossos, 2012).

### Disposició dels ossos en el jaciment

Observant la planimetria del jaciment, es poden intuir algunes zones amb una major densitat d'ossos. Això es un efecte gràfic causat per la projecció sobre un mateix pla d'objectes de diferents alçades. A més a més, s'observa una distribució espacial dels ossos aparentment casual, la qual seria indicativa d'una absència de transport per part de corrents. Els ossos llargs tendeixen a orientar-se amb el eix més llarg paral·lel o perpendicular a la direcció de la

corrent. Es tracta de la posició de major estabilitat per un os quan es veu afectada per un flux. Per tal d'analitzar possibles orientacions dels ossos llargs, s'han considerat aquells ossos que segueixen la ràtio  $L/l \geq 2$  ( $L$ =longitud màxima,  $l$ =llargada mitja del fòssil). S'ha mesurat la direcció dels ossos respecte al Nord amb l'objectiu de traçar la direcció preferencial dels fòssils al jaciment (Figs. 8 i 9). Representant les orientacions en un diagrama de rosa dels vents, s'observa una orientació preferent d'Est a Oest, cosa que indica una possible corrent que va moure i orientar els ossos. La dada més interessant és el fet que aquesta orientació s'observa en els ossos més grans i pesats (ossos articulars i cintura pelviana). Per evitar un biaix causat per les diferents mides dels ossos s'han dividit els fòssils en pesants i lleugers en base a la mesura dels eixos majors. Els resultats obtinguts mostren dos moments principals de deposició dels ossos:

A) Una primera corrent amb energia elevada que va disposar i orientar els ossos segons la direcció Est-Oest (figura 8);

B) Una segona corrent amb menor intensitat va remobilitzar només els ossos més lleugers amb direcció Nordoest-Sudest (figura 9).

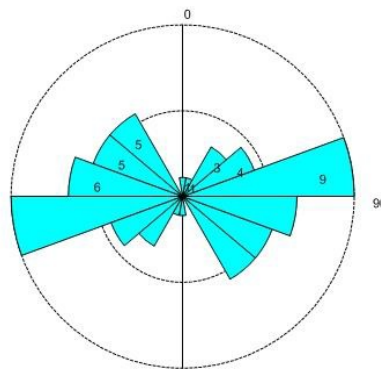


Figura 8: Diagrama de rosa dels ossos llargs pesats. Tots els ossos confirmen la presència d'una direcció preferencial amb orientació Oest-est.  $N=34$ ;  $\alpha=20^\circ$

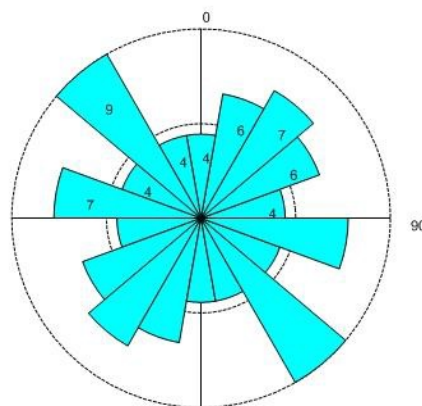


Figura 9: Diagrama de rosa dels ossos llargs lleugers que indica una preferència d'orientació en dos direccions principals, una d'elles oposada a la que presenten els ossos grans.  $N=51$ ;  $\alpha=20^\circ$

## Tafonomia

Mitjançant l'observació de l'estat de conservació i la distribució dels fòssils ha estat possible fer un estudi dels processos tafonòmics que van afectar les restes òssies del jaciment. La tafonomia es subdivideix en tres fases: i) l'interval des de la mort del organisme fins al seu primer enterrament (biostratinomia); ii) l'etapa des del primer enterrament fins a l'enterrament definitiu; iii) finalment, la fase des de l'enterrament definitiu fins a la troballa (fòssil-diagènesi). Les primeres dues fases comprenen tots aquells processos que pateix un organisme a partir de la seva mort, com a per exemple, l'actuació de carronyaires i el desmembrament del seu cos, la meteorització dels ossos, el transport passiu o actiu de les restes i l'enterrament. L'enterrament inclou la compactació, deformació de l'os i la diagènesi.

Les anàlisis biostratinòmics són essencials per a la reconstrucció dels fets que van ocórrer després de la mort dels organismes fins al primer enterrament, com per exemple l'abrasió, l'arrossegament, el transport, marques de carronyers o estructures de dessecació causades per una llarga exposició sota condicions subaèries.

Marques de dents, caracteritzades per fractures radials i concèntriques respecte al punt de pressió (figura 10), s'han observat en pocs ossos i generalment en els més robustos o grans. Només 5 dels 78 ossos restaurats, representant un 6,4%. Un percentatge baix d'aquestes marques mostra clarament que l'acció de carnívors i carronyaires és successiva a la mort dels individus (Rogers, 1990) i, per tant, no es la causa original de l'acumulació d'ossos ni de la seva distribució espacial. Les restes de l'Espinau no mostren evidències clares d'una prolongada exposició a condicions subaèries i, en general, el seu grau de conservació i desarticulació no és atribuïble a l'acció dels depredadors.



Figura 10: Detall del fèmur ESP-139 en vista frontal. Es poden observar almenys 4 perforacions a una distància regular interpretables com a marques de dents.

L'estudi de les troballes permet observar que tots els ossos tenen fractures més o menys extenses. Els extrems dels ossos o les parts amb relleu (epífisis, apòfisis, arcs neurals) estan erosionades (fase 1 segons Behrensmeyer, 1978). Pel que fa a les fractures, no hi ha estructures atribuïbles a fractures de dessecació o *flacking* (fases 2 i 3), així com tampoc no n'hi ha cap de tipus longitudinal profund, que indicaria una exposició prolongada en condicions subàrees abans de l'enterrament (fase 4). Això pot indicar que, abans de l'enterrament final, les restes d'animals van restar a la intempèrie i a l'alteració meteòrica, encara que durant per un període limitat.

S'ha dividit el material osteològic en funció de la presència/absència de fractures: el 35,2% són ossos sencers (representats per centres vertebrals amb apòfisis i metàpodes), un 11,2% són ossos amb només una fractura (falanges, apòfisis i altres ossos petits), el 36,3% tenen dues o més fractures (ossos llargs amb fractures amb separació de la diàfisis) i la resta, un 17,3%, són fragments indeterminats.

S'ha dividit el material en classes segons el tipus de fractura, mitjançant la proposta de Galobart (2003)

- Fractura oblíqua
- Fractura transversal
- Fractura longitudinal

Les fractures transversals apareixen en el 65% del material estudiat, les longitudinals en el 21,7% i les obliqües en el 13,3%.

Les fractures que ocorren més sovint, disposades paral·lelament i de manera repetida, són del tipus transversal, com passa en els ossos llargs (figura 11). Aquest tipus de fractura es forma després de l'enterrament a causa del pes del sediment sobre l'os, per tant és una fractura fossil-diagènètica per compactació. En canvi, els altres dos tipus són molt menys freqüents i són d'origen biostratinòmic: les fractures longitudinals son produïdes per la dessecació a causa de l'acció dels agents meteòrics (Behrensmeyer, 1978), i les obliqües es deuen a trepitjades o aplastament per part d'altres organismes (*trampling*) (Galobart, 2003; Eberth et al. 2007b).

Aquesta anàlisi ha permès observar que la majoria de les fractures es va produir després de l'enterrament. Donat el predomini de fractures transversals, s'interpreta que la fragmentació dels ossos no és deguda a factors biòtics.



Figura 11: Exemples d'ossos llargs del jaciment de l'Espinau. A, húmer ESP-24. B, fèmur ESP-139; C, tibia ESP-168. S'observen les nombroses fractures transversals, i el desgast dels còndils (especialment en el fèmur, veure part esquerra, distal).

### Anàlisi dels ossos i del sediment

Els ossos es van recuperar en dos nivells: majoritàriament del el nivell gris, però també del nivell ocre-gris, situat sobre el primer. Macroscòpicament les restes del nivell groc presenten diferències pel que fa a la conservació. Les restes del nivell gris presenten abundants concrecions amb calci i traces de silici. Les concrecions registrades en el nivell gris poden ser el resultat de processos edàfics (Díaz Molina, 1987).

Es van analitzar amb SEM-EDX alguns fragments d'ossos dels dos nivells per tal d'observar l'estructura microscòpica i la composició de les concrecions amb objectiu d'entendre la origen de les concrecions i veure si hi havia diferències entre els ossos en els dos nivells fossilífers. L'anàlisi amb EDX ha evidenciat que la composició dels ossos dels dos nivells fossilífers es igual i que es caracteritza per presència de calci i fòsfor, en forma de fosfat càlcic. L'anàlisi amb SEM ha permès observar que les estructures internes dels ossos estan omplertes d'un material diferent al que forma els ossos. Aquest sediment que forma el reompliment es caracteritza per presència de calci amb traces de silici, alumini i magnesi. En el nivell groc, la presència de silici es mes abundant.

Això semblaria indicar que els dos nivells fossilífers s'han format com a conseqüència de dos episodis deposicionals distints. Amb tot, més recerca en aquest punt és necessària per tal de poder-ho afirmar.

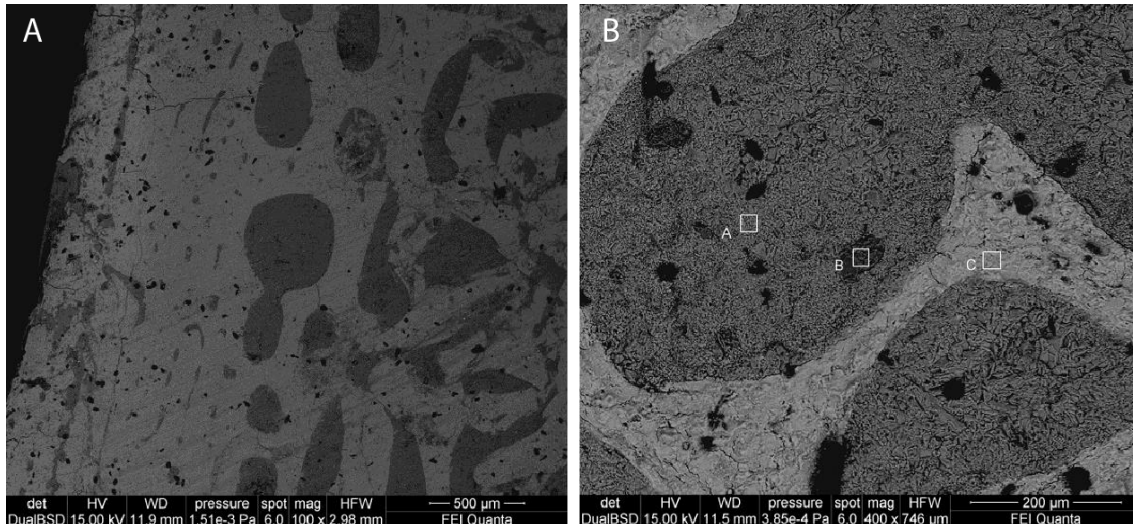


Figura 12: A, secció d'un os del nivell gris. Els vacúols són les estructures en gris fosc a dins del teixit ossi gris clar. B, fragment d'os del nivell groc-gris. A, B i C indiquen els punts on s'ha analitzat amb EDX.

### Interpretació del tipus de dipòsit sedimentari

En base a les dades aportades en l'apartat anterior, reconeixem una sèrie de característiques en el jaciment de l'Espinau pel que fa a la conservació i disposició dels ossos. Així, en el nivell gris trobem representats un mínim de 5 individus d'hadrosaure, desarticulats, amb escasses marques efectuades per depredadors o carronyaires, poques fractures originades en l'etapa biostratigràfica amb l'excepció del desgast de les epífisis i parts prominents dels ossos. Pel que fa a la distribució, s'observa una sèrie d'orientacions preferents Est-Oest pels ossos més llargs i una orientació perpendicular a aquesta dels ossos més petits i lleugers. A més, pel que fa a la fauna associada aquesta és característica de més d'un ambient, per exemple gasteròpodes de medis lacustres i d'altres de terrestres.

Aquests dos darrers aspectes evidencien que els ossos de dinosaure de l'Espinau representen una associació transportada, és a dir, constitueixen un dipòsit secundari a partir del transport d'una o més acumulacions primàries. El fet que tots els ossos del nivell fòssilífer gris presenten les mateixes característiques a nivell tafonòmic dona arguments a que procedeixen d'una mateixa acumulació primària, enlloc de representar el lloc de dipòsit final de diversos dipòsits primaris o font. L'orientació de les restes òssies evidencia un transport aquàtic, i el fet de trobar abundant matèria orgànica al jaciment indicaria una deposició dels ossos i sediment en un medi aquàtic d'aigües estanyades, que hauria permès la conservació d'aquesta matèria orgànica.

D'aquesta manera, podem reconstruir la història tafonòmica que van patir els ossos de dinosaure des del moment de la seva mort fins la seva acumulació final al jaciment de l'Espinau:

1. Davant una causa desconeguda, una sèrie d'individus d'hadrosaure van morir i van quedar acumulats en un dipòsit primari, durant un període de temps suficient com per permetre el desenvolupament de processos biostratigràfics com ara l'activitat carronyaire i una

incipient meteorització, però no prou important com per desenvolupar fractures de dessecació i altres efectes.

2. Aquesta acumulació es va veure afectada per un flux d'aigua que la va remobilitzar (i possiblement desarticular i erosionar) i, juntament amb sediments i altra fauna com ara gasteròpodes, va ser transportada fins un medi amb aigües estanyades, que suposaria el medi de deposició final. Aquest flux d'aigua originaria una orientació preferent dels ossos més grans, mentre que petits fluxos de menor importància remobilitzarien i reorientarien els ossos més petits.
3. Després de l'enterrament definitiu, durant la diagènesi, els ossos van patir fractures de tipus transversal a causa de la pressió i compactació del sediments que els envoltava.

Els fluxos d'aigua són comuns en les planes fluvio-deltaïques de la formació Tremp, de manera que el procés que va originar el transport i la final deposició dels ossos del jaciment de l'Espinau pot trobar-se en moments d'inundació o desbordament de canals. Posteriorment, sobre el dipòsit sedimentari que representa el nivell fossilífer gris, s'hi desenvoluparien paleosòls representats pels nivells ocre-gris i vermell amb *mottling*, generat per l'acció de les arrels en un medi exposat subaèriament.

Pel que fa a les concrecions de carbonat al voltant dels ossos, encara no es disposen de suficients dades com per desentrellar el seu origen, el qual podria ser pre-acumulació final, per exemple carbonats edàfics, o un origen post-deposicional, originat després de l'enterrament final al jaciment de l'Espinau.

## **Conclusions**

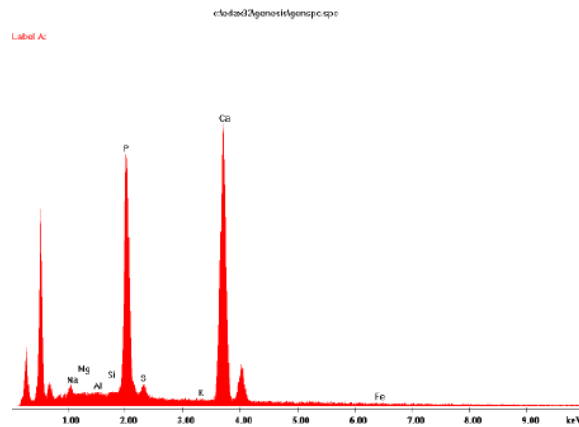
El nou jaciment de l'Espinau, descobert l'any 2010, aporta nou material per conèixer com eren els dinosaures d'Europa abans de l'extinció del final del Cretaci, fa 66 milions d'anys. Les tasques d'excavació dutes a terme entre els anys 2010 i 2013 han aportat un total de 535 restes òssies, de les quals un 70% pertanyen a dinosaures atribuïbles a hadrosaures. L'estudi de la tafonomia del jaciment permet considerar-lo com un *bonebed* de microfòssils monotàxic.

L'estudi de les restes òssies ha evidenciat una escassetat de modificacions o alteracions lligades a la meteorització, així com poques marques de dents fetes per animals carronyaires. Això indica que els ossos dels dinosaures representats al jaciment, en morir, van patir una curta exposició subaèria. Les fractures o desgast de les parts més prominents dels ossos, com ara les apòfisis de les vèrtebres, a més de l'orientació hidràulica dels ossos (estudiada gràcies a l'elaboració d'una planimetria mitjançant georeferenciació) indica que els ossos, i altres organismes com ara gasteròpodes i petits vertebrats, van patir un transport per un flux d'aigua des del lloc d'acumulació primari fins l'actual dipòsit. Les nombroses fractures transversals que presenten els ossos llargs és atribuïble a la fase d'enterrament final o diagènesi. Aquest model és compatible i encaixa bé amb l'esquema general de la "unitat vermella inferior" de la Fm Tremp durant el Maastrichtià, on nombrosos cursos fluvials s'estenien per planes costaneres. Aquests rius podrien provocar episodis de desbordament i inundació, remobilitzant acumulacions òssies preexistents.

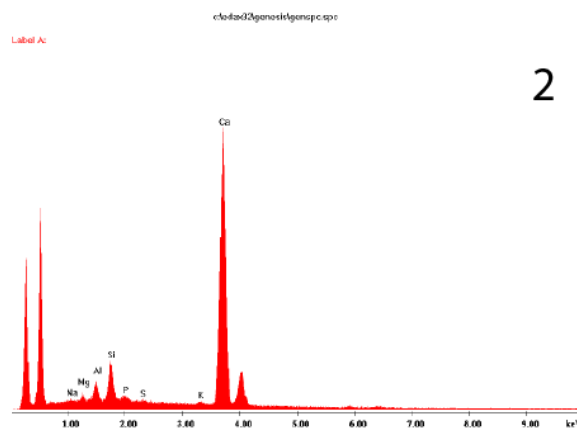


Malgrat aquests resultats, encara resten per conèixer una sèrie d'aspectes relacionades amb el jaciment, com ara l'origen de les concrecions de carbonat que es troben en la majoria d'ossos, i estudis histològics i osteològics que ajudin a determinar quina era la natura dels dinosaures hadrosaures que trobem representats a l'Espinau.

1



2



3

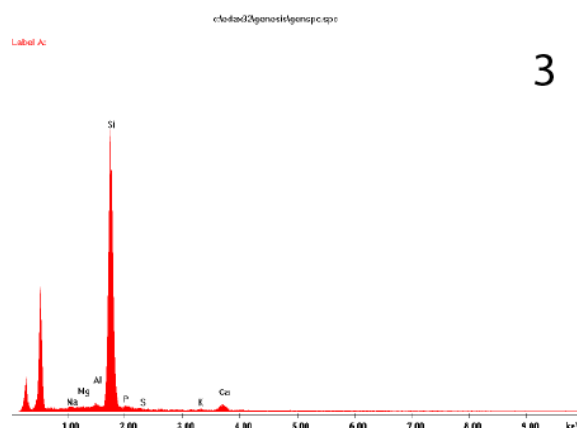


Figura 13: 1, espectre obtingut amb l'EDX relatiu a les anàlisis de teixits ossis del nivell gris, comparable amb aquells del nivell groc-gris. 2, espectre obtingut amb l'EDX relatiu a les anàlisis del material de reompliment (concrecions) dels vacúols del nivell gris, comparable als del nivell groc-gris. 3) Espectre obtingut amb l'EDX relatiu als microgranuls presents en els vacúols dels fragments ossis del nivell groc-gris, molt semblants i comparable als de les concrecions del nivell gris, però amb major presència de Si.

## Agraïments

Les excavacions al jaciment de l'Espinau s'han pogut fer gràcies a les aportacions econòmiques del Departament de Cultura de la Generalitat de Catalunya, de l'Institut d'Estudis Ilerdencs i del Plan Nacional de Investigación del Ministerio de Ciencia e Innovación (Projecte "El fin de una Era: la extinción de los dinosaurios, una perspectiva europea" CGL2011-30069-C02-01). Volem agrair també la col·laboració del poble de Tartateu, en especial als descobridors del jaciment, Ciscu i Lluís Garrofer, als propietaris dels terrenys on es troba el jaciment, Antoni Corsà i Miquel Valls, per la paciència davant de les complicacions burocràtiques i col·laboració en algunes tasques d'excavació (cessió gratuïta d'una màquina excavadora). També volem agrair el suport que hem tingut per part de la secció de Geo-paleontologia de l'Institut d'Estudis Ilerdencs, depenent de la Diputació de Lleida, i en especial dels srs. Antoni Lacasa i Javier Lozano que han intercedit pel bon desenvolupament de les excavacions tant davant el municipi de Tartateu com davant de la Diputació de Lleida.

Novella Razzolini agraeix el suport del Ministerio de Economía y Competitividad, per la beca FPI (BES-2012-052366). Víctor Fondevilla agraeix el suport del Ministerio de Economía y Competitividad, per la beca FPI (BES-2012-052366).

## Referències

- Behrensmeyer, A.K. 1978. Taphonomic and ecologic information from bone weathering. *Paleobiology*, 4: 150-162.
- Blanco, A. i Bolet, A. 2014 Updating the knowledge on faunal assemblages from the Tremp Formation (Late Cretaceous, Upper Maastrichtian): Microvertebrate remains from four new sites. A: Marmi J, Oms O, Vila B, Galobart À, Estrada R, Dinarès-Turell J (eds). *Reconstructing the terrestrial End-Cretaceous paleoenvironments in Europe*. Tremp, Catalonia, Spain, 16-20th September 2014. pp 60.
- Casanovas, M. L. and Santafé, J. V. 1993. Presencia de Titanosáuridos (Dinosauria) en el Cretácico superior de Fontllonga (Lleida, España). *Treballs del Museu de Geologia de Barcelona* 3: 67-80.
- Dalla Vecchia, F.M. 2009. European hadrosauroids. *Actas de las IV Jornadas Internacionales sobre Paleontología de Dinosaurios y su Entorno*, Salas de los Infantes, Burgos: 45-74.
- Díaz Molina, M. 1987. Sedimentacion sintectónica asociada a una subida relativa del nivel del mar durante el Cretácico Superior (Fm. Tremp, provincia de Lerida). *Estudios geológicos*, vol. extr. Galve-Tremp: 69-93.
- Eberth, D.A., Shannon, M. i Noland, B.G. 2007a. A bonebeds database: Classification, biases, and patterns of occurrence, pp. 103-220. In Rogers, R.R., Eberth, D.A. & Fiorillo, A.R. (Eds.). *Bonebeds: Genesis, Analysis, and Paleobiological Significance*. University of Chicago Press, 499 pp.
- Eberth, D.A., Rogers, R.R. i Fiorillo, A.R. 2007b. A practical approach to the study of bonebeds, pp. 265-332. A: Rogers, R.R., Eberth, D.A. & Fiorillo, A.R. (Eds.). *Bonebeds: Genesis, Analysis, and Paleobiological Significance*. University of Chicago Press, 499 pp.
- Gaete R., Prieto-Márquez A., Riera V., Oms O. i Galobart À. 2007. New discoveries of lambeosaurine hadrosaurids from the Tremp Basin (Maastrichtian, Southern Pyrenees):

- description and stratigraphic setting. 55th Symposium of Vertebrate Paleontology and Comparative Anatomy (Abstracts), Glasgow: 36-37.
- Galobart, À. 2003. Aspectos tafonómicos de los yacimientos del Pleistoceno inferior de Incarcal (Crespità, NE de la Península Ibérica). *Paleontología i Evolució*, 34: 211-220.
- Llompart, C. 1979. Yacimiento de huellas de pisadas de reptil en el Cretácico superior prepirenaico. *Acta Geologica Hispanica*, 14: 333-336.
- Llompart, C. i Krauss, S. 1982. Restos de moluscos y dinosaurios en formaciones estromatolíticas garumnienses al S del Montsec (prov. de Lérida). *Boletín Geológico y Minero* 43: 371-378.
- López-Martínez, N. 2000. Eggshell sites from the Cretaceous-Tertiary transition in South-central Pyrenees (Spain); pp. 95-115. In A. M. Bravo and T. Reyes (eds.) *First International Symposium on Dinosaur Eggs and Babies- Extended Abstracts*. Diputació de Lleida, Lleida.
- López-Martínez, N., Ardèvol, L., Arribas, M.E., Civis, J. i González, J.A. 1998a. The geological record in continental environments around the K/T boundary (Trempe Formation, Spain). *Bulletin Societe Géologique de la France, Paris*, 169 (1): 11-20.
- López-Martínez, N., Lacasa Ruiz, A. i Martínez Delclòs, X. 1998b. Icnites de dinosaures sauròpodes en el Cretaci superior de Camarasa (la Noguera, Lleida). *Ilerda "Ciències"*, 52: 35-46.
- López-Martínez, N., Fernández-Marrón, M.T. i Valle, M.F. 1999. The succession of vertebrates and plants across the Cretaceous-Tertiary boundary in the Trempe Formation, Ager Valley (South-Central Pyrenees, Spain). *Geobios*, 32, (4): 617-627.
- Martín M, Gaete R, Galobart À, Riera V. i Oms O. 2007. A new hadrosaurian bonebed in the Maastrichtian of the southern Pyrenees: a stratigraphic and taphonomic approach. 55th Symposium of Vertebrate Paleontology and Comparative Anatomy (Abstracts), Glasgow: 40.
- Moore, R.C. 1960. *Treatise on Invertebrate Paleontology. Part I: MOLLUSCA 1*. Geological Society of America, University of Kansas Press, 368 pp.
- Prieto-Márquez, A., Gaete, R., Rivas, G., Galobart, À. i Boada, M. 2006. Hadrosauroid dinosaurs from the Late Cretaceous of Spain: *Pararhabdodon isonensis* revisited and *Koutalisaurus kohlerorum*, gen. et sp. nov. *Journal of Vertebrate Paleontology*, 26(4): 929-943.
- Prieto-Márquez, A., Dalla Vecchia, F.M., Gaete, R. i Galobart, À. 2013. Diversity, Relationships, and Biogeography of the Lambeosaurine Dinosaurs from the European Archipelago, with Description of the New Aralosaurin *Canardia garonnensis*. *PLoS ONE*, 8(7): e69835. doi:10.1371/journal.pone.0069835.
- Riera V., Oms O., Gaete R. i Galobart À. 2009. The end-Cretaceous dinosaur succession in Europe: The Trempe Basin record (Spain). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 283: 160–171.
- Rogers, R.R. 1990. Taphonomy of three dinosaur bone beds in the Upper Cretaceous Two Medicine Formation of northwestern Montana: Evidence for drought-related mortality. *Palaios*, 5: 394-413.
- Rogers, R.R. i Kidwell, S.M. 2007. A conceptual framework for the genesis and analysis of vertebrate skeletal concentrations, pp. 1-64. In Rogers, R.R., Eberth, D.A. & Fiorillo, A.R. (Eds.). *Bonebeds: Genesis, Analysis, and Paleobiological Significance*. University of Chicago Press, 499 pp.

- Rosell, J., Linares, R. i Llompart, C. 2001. El "Garumniense" Prepirenaico. *Revista de la Sociedad Geológica de España* 14: 47–56.
- Sellés, A.G., Vila, B. i Galobart, À. 2014. *Spheroolithus europaeus*, oosp. nov. (late Maastrichtian, Catalonia), the youngest oological record of hadrosauroids in Eurasia, *Journal of Vertebrate Paleontology*, 34:3, 725-729, DOI: 10.1080/02724634.2013.819360
- Vila, B., Gaete, R., Galobart, À., Oms, O., Peralba, J. i Escuer, J. 2006. Nuevos hallazgos de dinosaurios y otros tetrápodos continentales en los Pirineos Sur-centrales y orientales: resultados preliminares. En (Colectivo Arqueológico-Paleontológico Salense, Ed.): *Actas de las III Jornadas sobre Dinosaurios y su Entorno*. 365-378. Salas de los Infantes, Burgos, España.
- Villalba-Breva, S. i Martín-Closas, C. 2012. Upper Cretaceous paleogeography of the Central Southern Pyrenean Basins (Catalonia, Spain) from microfacies analysis and charophyte biostratigraphy. *Facies*, DOI 10.1007/s10347-012-0317-1
- Weishampel, D.B., Norman, D.B. i Grigorescu, D. 1993 - *Telmatosaurus transsylvanicus* from the Late Cretaceous of Romania: the most basal hadrosaurid dinosaur. *Palaeontology*, 36: 361-385.