

# EXCAVA(a) FUMANYA

## 2002-2008. Treballs de prospecció i excavació paleontològiques

ConSORCI Ruta Minera

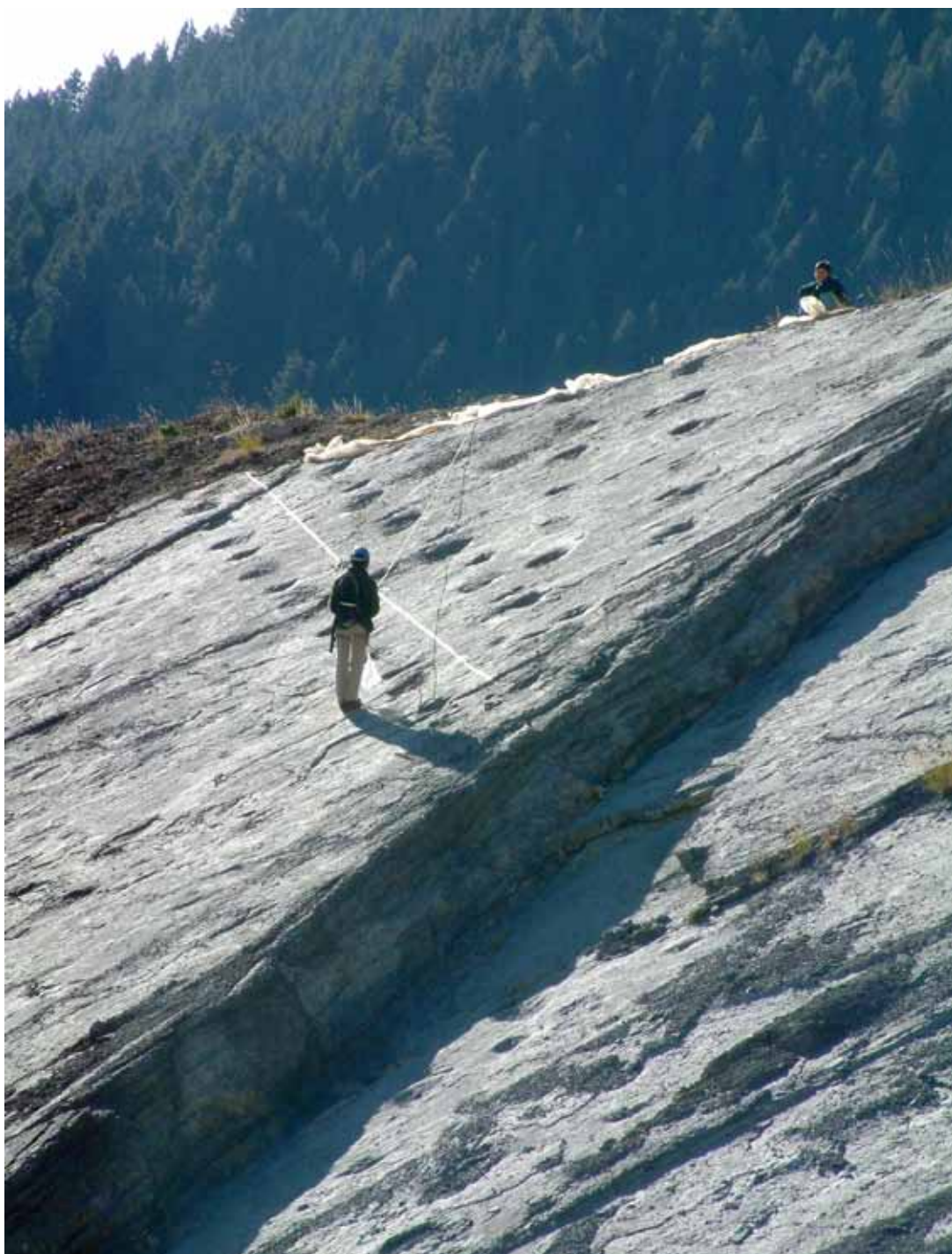
Durant el període comprés entre 2002 i 2008, un equip de paleontòlegs format per Bernat Vila Ginestí, Begoña Poza Falset i Josep Marmi Plana, coordinats amb els equips de l'Institut Català de Paleontologia i els de la UAB, van treballar intensament a favor del coneixement i la difusió científica del jaciment de Fumanya. El resultat llueix en la llarga llista d'articles científics publicats en diferents revistes de prestigi internacional, però també en les memòries de les excavacions i els documents de treball que conserva Ruta Minera, la institució que juntament amb els departaments de Cultura i Universitats de la Generalitat de Catalunya, van confiar en la seva expertesa i talent. Resumim aquí una part de la feina feta, extreta de la documentació que va acompanyar els seus estudis científics, presentada en diferents blocs temàtics.

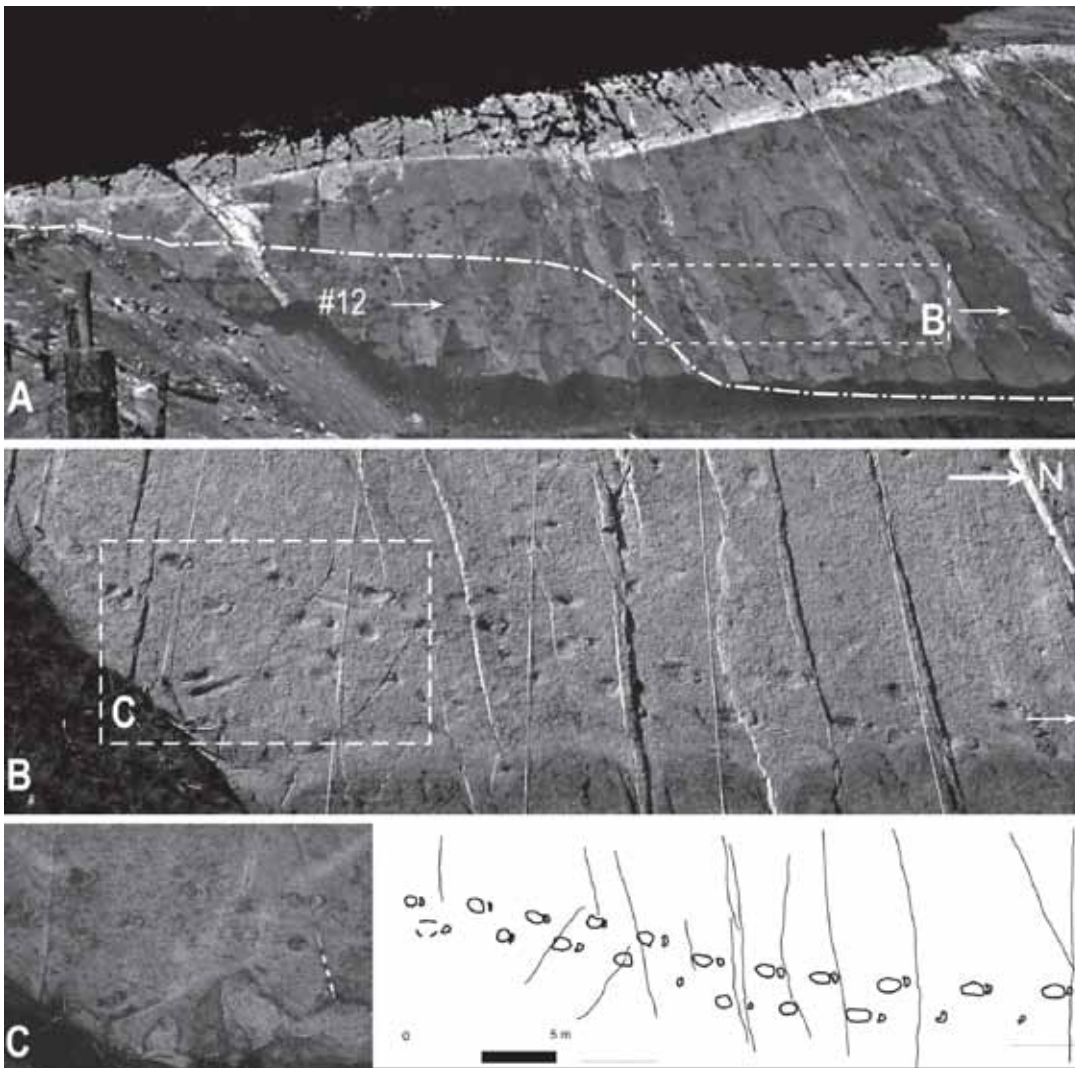
### Documentació gràfica de jaciments amb icnites de Titanosaure

Durant els anys 2002, 2003 i 2004 es van fer diverses campanyes de documentació gràfica als jaciments amb icnites de Fumanya. Els punts d'estudi foren les superfícies verticals amb petjades i rastres de Fumanya Sud, Mina Esquirol, Fumanya Nord i Mina Tumí.

Bernat Vila examinant les petjades de Mina Tumí

(FOTOGRAFIA ENRIC BADIA)

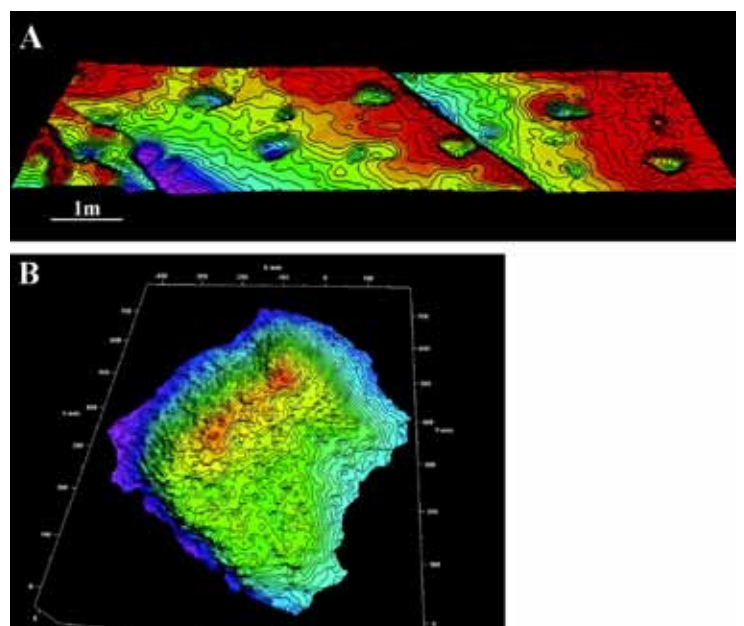




La cartografia ha proporcionat molta informació sobre les petjades i els rastres, especialment quan es va poder fer de manera digital amb el sistema LIDAR. (ARXIU RUTA MINERA)

La principal motivació dels treballs fou l'obtenció de noves dades icnològiques per afegir als estudis previs realitzats per altres equips, el de Jean Le Loeuff i Albert Martínez (1997), i el de Schulp i Brokx (1999). No era una feina fàcil perquè la verticalitat i les dimensions de les parets dels jaciments berguedans són molt grans: estem parlant d'una superfície total de 35.000 m<sup>2</sup>. Finalment es va optar per fer unes cartografies que, fins al moment, han estat les més resolutives i precises del conjunt, i que es van fer amb col·laboració amb la School of Earth, Atmospheric and Environmental Science de la University of Manchester (Regne Unit), i que es van finançar amb recursos de Ruta Minera i del Departament de Cultura de la Generalitat.

Mitjançant el sistema LiDAR (Light Detection And Range) es va escanejar el conjunt dels quatre afloraments (Fumanya Sud i Nord, Mina Esquirol i Tumí). La tecnologia de digitalització LiDAR és un mètode altament acurat per adquirir dades en tres dimensions que s'està començant a utilitzar en geologia tant des del punt de vista analític com de geoconservació. El treball de camp realitzat als jaciments va tenir lloc durant sis dies de bon temps i la màxima prioritat va ser escanejar cada aflorament en el moment del seu angle d'il·luminació solar òptim. Posterior-



ment, l'investigador Bernat Vila ha fet dues estades a la Universitat de Manchester per analitzar i processar les dades de la cartografia digital amb els programes RiSCAN Pro i PETREL durant el maig de 2006 i entre el 24 de maig – 15 de juny de 2007.

### Campanyes d'excavació en jaciments d'ossos i ous

Durant el període subvencionat, s'han executat diferents campanyes d'excavació amb el permís de la Direcció General de Patrimoni Cultural del Departament de Cultura i Mitjans de Comunicació. Els jaciments que han estat excavats són Peguera-1 i Fumanya Sud, ambdós inclosos dins el municipi de Fígols.

L'excavació del Jaciment de Peguera-1 ha estat co-dirigida per membres de l'Institut Català de Paleontologia Miquel Crusafont (Dr. Àngel Galobart) i del Consorci Ruta Minera (Bernat Vila i Begoña Poza). Després de quatre campanyes d'excavació, que es varen iniciar el 2004, s'han recuperat més de cinquanta sigles pertanyents a ossos d'un gran dinosaure sauròpode als quals s'hi han trobat associades prop d'una trentena de dents de dinosaures teròpodes. Entre els ossos del gran sauròpode, s'han pogut recuperar dos húmer, dos fèmurs, dues fíbula i fragments d'escàpula. De moment s'han preparat prop d'una quinzena de peces del sauròpode, entre les que hi ha dos

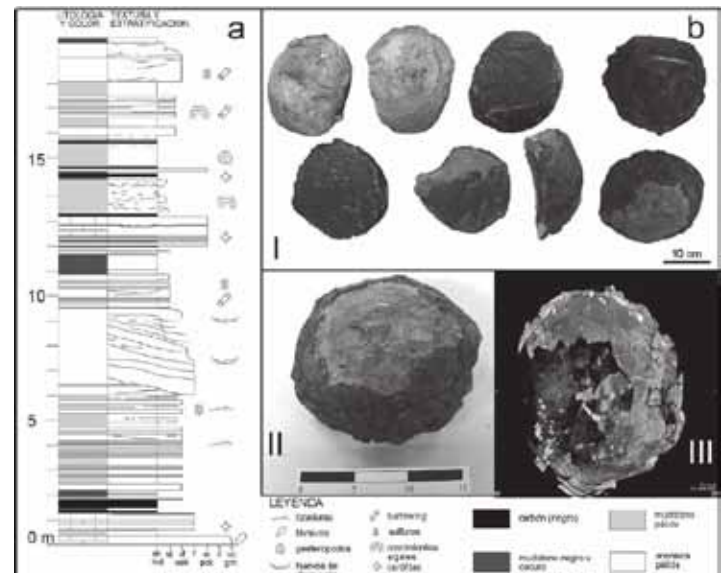
húmer, dos fèmurs, dues fíbules i una escàpula, en els tallers de restauració de l'Institut Català de Paleontologia a les instal·lacions del Museu de Ciències Naturals de Tremp. Aquests materials estan dipositats a l'espai de reserva del Museu de les Mines de Cercs, i alguns s'exposen al centre d'interpretació de Fumanya.

Les excavacions del Jaciment de Fumanya Sud (B-FUM017) també es van iniciar el 2004 i han estat dirigides des del Consorci Ruta Minera (Bernat Vila, Begoña Poza i Josep Marmi). En aquest petit aflorament es van recuperar 84 peces fòssils (ossos i dents) d'un cocodril euasiàtic entre els quals hi ha plaques cranials, diferents tipus de vèrtebres, costelles, ossos d'extremitats i de la cintura pèlvica. La major part d'aquest material (a falta del de la campanya de 2008) ha estat restaurat al Museu de Ciències Naturals de Tremp i el seu dipòsit provisional és el Museu de les Mines de Cercs.

En campanyes anteriors (2004-2005) al període subvencionat, l'equip va excavar el jaciment de Font del Bullidor (Fígols) recuperant ous i niuades de dinosaure sauròpode. El material excavat (closques, ous i fragments de postes) s'ha seguit restaurant i estudiant durant el període 2006-2008. Els fragments de closques d'ous recollits al jaciment de Font del Bullidor van ser netejats mitjançant un bany d'ultrasons. També es van estudiar les superfícies internes i externes amb lupa



L'estudi dels restes fòssils d'ous i ossos ha augmentat el valor científic dels jaciments berguedans (ARXIU RUTA MINERA)





binocular, així com làmines primes. Alguns fragments de closques van ser estudiats amb el microscopi electrònic (SEM). En el conjunt de postes amb ous i acumulacions de closques que es van identificar al jaciment de Font del Bullidor es va poder obtenir

- a) una documentació tridimensional de les posicions de les postes dins el nivell que les contenia i
- b) una cartografia de detall de cadascuna de les postes.

Per a la visualització tridimensional de les posicions dels punts amb ous o closques es va utilitzar el software AUTOCAD i les dades topogràfiques obtingudes amb l'Estació Total Trimble sèrie 5500. L'estudi de les postes del jaciment de Font del Bullidor va incloure també la modelització en tres dimensions d'algunes de les que contenien major nombre d'ous. Així les postes IV i VI van ser modelitzades amb l'ajuda del software CHEETAH-3D.

### Inventari de restes vegetals

Entre els mesos d'octubre de 2006 i gener de 2007 es va realitzar la prospecció a la recerca de restes vegetals als jaciments de Fumanya Sud i Mina Esquirol. El treball ha consistit en la localització d'impressions de plantes a la part baixa de cada aflorament vertical

**L'estudi de les restes fòssils, especialitat de Josep M. Marmi, han obert un nou camp de recerca.** (ARXIU RUTA MINERA)

i de l'exploració de les parts més altes i inaccessibles mitjançant observació visual amb prismàtics SuperZenit Extra 10x50 a les hores de millor il·luminació natural (entre les 11 i 15 hores depenent de l'orientació de l'aflorament). Aleshores, les restes vegetals han estat documentades fotogràficament i posteriorment descrites i mesurades a partir de les fotografies preses amb l'ajut del software IMAGEJ. Sempre que ha estat possible, s'han recollit dades tafonòmiques (estat de conservació, orientacions).

Prèviament, durant les prospeccions realitzades entre 2003 i 2004 s'havien recollit mostres d'alguns exemplars que conservaven restes de cutícula carbonitzada que ens han servit per fer estudis histològics. Fruit d'aquest treball s'han identificat aproximadament 130 impressions de troncs, prop de 80 fulles de palmera, 2 de pecíols i més de 60 punts amb acumulacions de petits branquillons. A part d'això, a Mina Esquirol també s'han trobat nivells rics amb llavors i la impressió d'una soca amb arrels adventícies que podria cor-

respondre a una palmera. Totes aquestes restes vegetals estan associades a les petjades i rastres de titanosau.

### Prospecció de nivells rics en mol·luscs

L'estudi de la diversitat dels mol·luscs fòssils pot aportar informació important per estimar paràmetres paleoambientals (per exemple salinitats de les aigües) i la tafonomia i paleoecologia de jaciments de vertebrats. En aquest sentit, s'ha realitzat una prospecció i caracterització activa d'afloraments rics en mol·luscs fòssils associats a les facies continentals del Maastrichtià del Sinclinal de Vallcebre. S'han obtingut dades i mostres de 18 nivells diferents corresponents a la unitat regional Garumnià gris. A més a més, s'han identificat els taxons a nivell de gènere, s'han mesurat els espècimens i s'han obtingut dades tafonòmiques (orientacions, agrupament, estat de conservació de la closca...).

### Documentació i estudi de petjades de sauròpode i altres vertebrats als jaciments de l'àrea de Fumanya

Els primers treballs de l'equip s'han centrat en ampliar les car-

tografies realitzades prèviament per altres autors al jaciment de Fumanya Sud (Le Loeuff i Martínez 1997 i Schulp i Brokx 1999). Igualment, s'ha recuperat informació icnològica perduda degut a l'erosió a partir de fotografies dels 1980s i 1990s que s'han pogut aconseguir gràcies a la col·laboració del mateix descobridor dels jaciments, en Lluís Viladrich, i d'altres persones: Joan Ribera (fotògraf) i Enric Vicens (professor de geologia de la Universitat Autònoma de Barcelona). Tota aquesta informació ha permès confirmar que totes les petjades van ser produïdes pel mateix tipus de dinosaure: sauròpodes titanosauriformes.

Fumanya és una de les poques localitats conegudes del Cretaci superior amb petjades de Titanosau. Dins la mateixa edat només es coneixen els jaciments de bolivians de Toro Toro i Cal Orko que siguin comparables amb la localitat berguedana. L'examen dels nivells amb petjades ha permès documentar diferents tipus de preservació «overtracks» o sobre-traces, petjades vertaderes, «undertracks» o sub-traces en funció de si la capa de roca que les conté era superior o inferior al substrat que va trepitjar el dinosaure. Les primeres cartografies també evidencien diferents patrons de desplaçament



- rastres en sentits oposats, rastres en paral·lel i mateix sentit, rastres amb canvis bruscos de direcció – la qual cosa fa possible inferir patrons de comportament socials. La utilització de la tecnologia LiDAR ha representat un gran pas per millorar la qualitat dels treballs icnològics.

S'han pogut realitzar cartografies en punts on els mètodes tradicionals havien sigut totalment inefectius (com és el cas de l'afloreament de Fumanya Nord). D'altra banda, LiDAR permet una adquisició de dades d'alta qualitat i la comoditat de poder realitzar mesures amb una major precisió mitjançant els models digitals obtinguts, fins i tot de llocs on l'accés és impossible. L'aplicació d'aquesta tecnologia en el cas de Fumanya ha estat un èxit i assegura la conservació d'aquest patrimoni en format digital, cosa molt important, tenint en compte que el jaciment pateix greus problemes d'erosió. L'experiència de LiDAR a Fumanya i el seu potencial analític ha estat publicada en revistes internacionals de prestigi.

L'anàlisi detallat dels paràmetres morfomètrics de rastres i petjades mitjançant el processament de les dades digitals obtin-

**Josep M. Marmi**  
examinant les capes de carbó. [ARXIU RUTA MINERA]

**Procés de neteja i restauració dels ous de Vallcebre al Museu de Tremp.** [ARXIU RUTA MINERA]



gudes es troba en curs i formarà part dels treballs de tesi de l'investigador Bernat Vila Ginestí. Aquestes dades estan aportant informació molt precisa sobre la locomoció dels sauròpodes productors de les petjades de Fumanya.

El 2007 es van descobrir noves traces fòssils de vertebrats als jaciments de Fumanya. Es tracta d'icnites no dinosaurianes que aporten informació addicional pel què fa als aspectes paleoam-

bientals. L'estudi d'aquestes noves evidències es troba en curs.

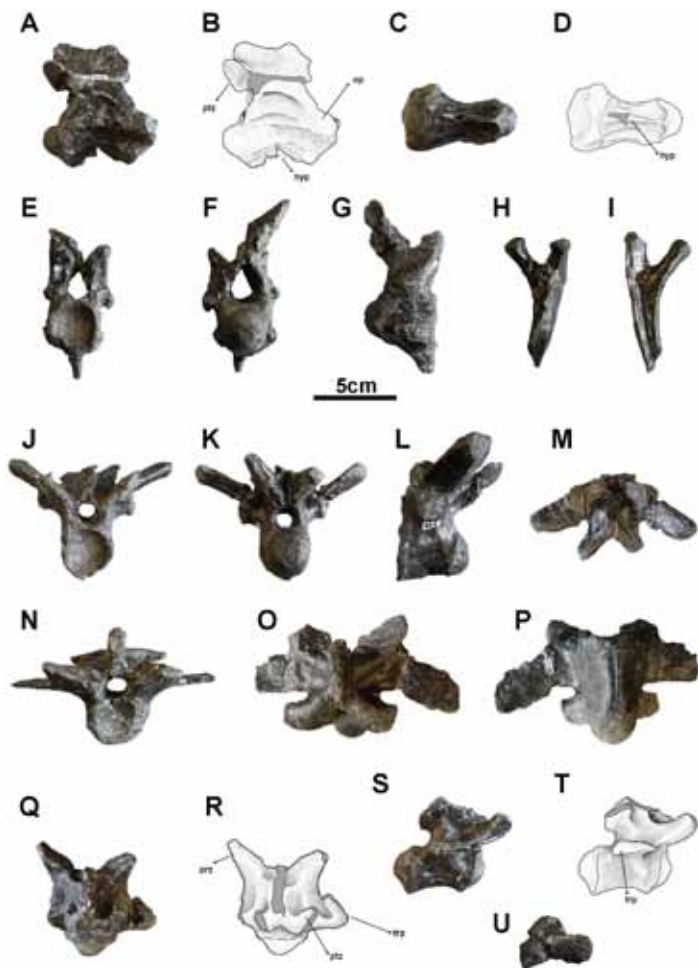
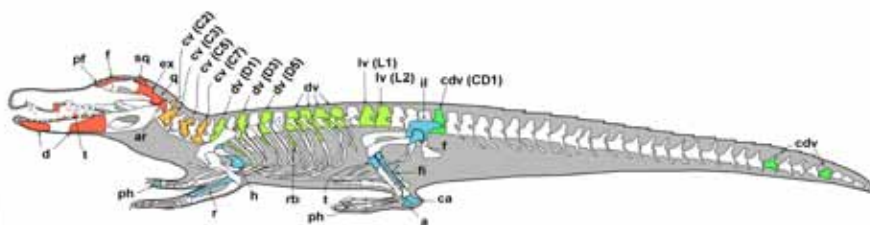
### **Contribució a la caracterització dels hàbits reproductius dels sauròpodes del cretaci superior europeu**

La presència de restes d'ous de dinosaures sauròpodes és coneguda a l'àrea del sinclinal de Vallcebre des de finals de la dècada dels 1960. L'any 2000 C. Peitz va ser qui primer en va fer un estudi biomètric i estratigràfic. El primer treball amb material més complet es va fer sobre fragments de closques, ous i postes trobades a diferents localitats de l'àrea de Fumanya es del 2005, resultat de les tasques de prospecció executades per membres de l'equip de recerca de Ruta Minera i col·laboradors de l'ICP i de la UAB.

Les excavacions realitzades al jaciment de Font del Bullidor (Figols), durant el juny de 2004 i el juliol de 2005, han permès documentar i recuperar de 3 a 4 postes d'ous de dinosaure i obtenir-ne dades tafonòmiques. Una vegada restaurat, aquest material ha estat estudiat en el període 2005-2008. Els estudis de microscòpia electrònica han permès determinar que les closques d'ou recollides al jaciment de Font del Bullidor pertanyen a la oespècie *Megaloolithus siruguei*. La seva superfície externa consisteix en nodes arrodonits, separats per intersticis irregulars. El gruix de la closca varia entre 1.64 – 2.48 mm.

Malgrat que en altres parts del món el registre fòssil ha permès inferir conductes de reproducció pels sauròpodes titanosaures, fins a l'actualitat no existien a Europa estudis que n'aportessin noves dades concloents. A partir del mapatge i excavació del jaciment d'ous de Font del Bullidor s'han documentat varis agrupaments d'ous i postes obtenint dades significatives sobre el procés d'incubació dels titanosaures del Cretaci superior. Les dades indiquen que els ous varen ser dipositats en el context d'un canal fluvial durant un cicle transgressiu. L'arquitectura de la posta s'ha inferit a partir del modelat 3D de la informa-

I la investigació continua. Alejandro Blanco, Eduardo Puértolas-Pascual, Josep Marmi, Bernat Vila i Albert G. Sellés han aprofundit en l'estudi de les retes fòssils del cocodril, un Allodaposuchian Crocodylians. L'estudi s'ha publicat a la revista científica PLoS One, l'any 2014.



ció topogràfica. Aquestes dades, juntament amb informació tafonòmica addicional, suggereixen que la incubació dels ous es va produir en clots poc profunds excavats pel dinosaure i que la majoria d'ous varen ser coberts per sediment abans de trencar-se per processos fossildiagènètics.

Adicionalment, s'ha realitzat un altre treball que ha consistit en l'estudi d'ous de dinosaure del sinclinal de Vallcebre mitjançant l'aplicació de noves tecnologies com els TACs, per proposar altres idees sobre el procés de nidificació. En base a observacions tafonòmiques i a partir dels models 3D s'ha complementat

el coneixement sobre la nidificació d'aquests dinosaures, a banda de demostrar una aplicació més d'aquesta tecnologia en paleontologia. El TAC permet estudiar el patró de distribució dels fragments de closca a l'interior de l'ou fossilitzat i a partir d'aquí trobar evidències per saber si l'ou va ser enterrat o quines eren les condicions d'incubació. S'han pogut escanejar mitjançant la tomografia computeritzada prop d'una desena d'ous dels jaciments berguedans de Fumanya Nord i Font del Bullidor.

D'altra banda, mitjançant una col·laboració amb un equip internacional, s'ha comparat la

conductància del vapor d'aigua en closques d'ous de titanosau-re d'Argentina amb les dels Pirineus, mesura que depèn de la porositat de la mateixa closca. La mostra d'Auca Mahuevo (Argentina) té una closca més prima i 47 vegades menys porus que la mostra pirinenca. D'altra banda, la conductància és 10 vegades major en el darrer cas. Això indica clares diferències entre la fisiologia reproductiva i estratègies de posta entre els dos casos.

### Estudi de restes directes de vertebrats

Alguns dels resultats obtinguts en aquest camp encara són molt preliminars. Entre els ossos de sauròpode del jaciment de Peguera-1 hi ha dos húmer i dos fèmurs i en tots els casos els falten les epífisis. S'ha estimat una llargada de 120 cm pels húmer i 170 cm pel fèmur. Per tant, es tractaria d'un sauròpode titanosau-re de grans dimensions.

Les dents de dinosaures teròpodes associades a les restes de sauròpode presenten denticles i preliminarment considerem que algunes podrien correspondre a dromeosàurids. Una vegada estudiats aquests tàxons per separat, es preveu fer un estudi tafonòmic mitjançant una cartografia 3D obtinguda a partir de les dades recollides durant l'excavació, la qual cosa permetrà entendre els processos que van fer possible la conservació d'aquestes restes fòssils i la formació d'aquest jaciment. Pel que fa a les restes de cocodril excavades al jaciment B-FUM017, en aquest moment es troben pendents d'estudi, a l'espera que s'hagin restaurat les de la campanya de 2008.

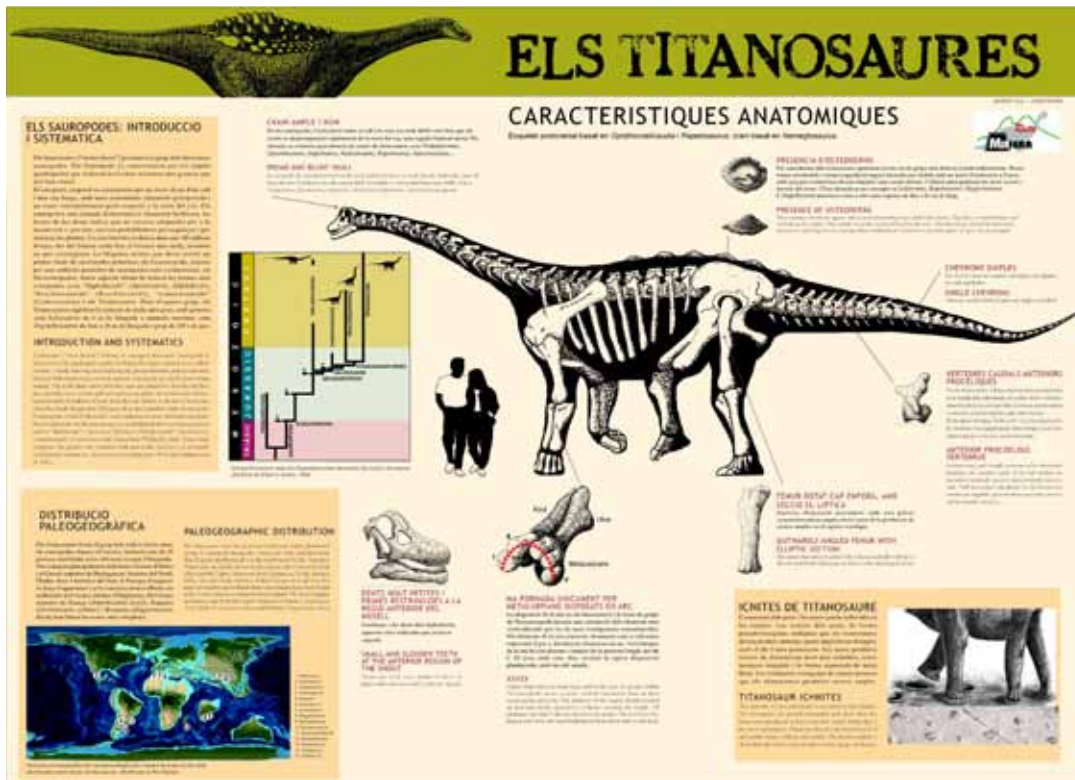
D'altra banda, el nostre equip també ha estudiat restes de vertebrats recollides abans del

període 2006-2008: un fragment perifèric de closca de tortuga descobert a Mina Esquirol el 2001 i agullons caudals de rajada dels afloraments de Mina Esquirol i Sant Corneli. Les restes de tortuga pertanyen al gènere *Solemys*, un queloni terrestre que es va extingir a finals del Maastrichtià. L'estudi d'aquests fòssils i les dades de camp obtingudes durant l'excavació, estan permetent aclarir aspectes de l'ecologia d'aquest gènere extingit, el qual es tractaria d'una tortuga semi-aquàtica. Els agullons pertanyen a *Myliobatiformes* i es tracten d'unes de les restes d'aquest tipus més antigues del món i la presència d'aquests dos tàxons en els mateixos nivells on trobem les petjades de titanosau-re indiquen una barreja d'influències marines i continentals en l'ambient.

### Identificació i estudi de restes fòssils vegetals als jaciments de l'àrea de Fumanya

Durant les prospeccions realitzades entre 2006 i 2007 als nivells amb petjades de titanosau-re de Fumanya Sud i Mina Esquirol es van identificar una gran quantitat d'impressions de troncs i branquillons, de fulles de palmera, una soca i denses acumulacions de llavors. Durant el 2007 es va realitzar l'estudi taxonòmic i descriptiu de les impressions més completes de fulla de palmera, que també s'ha descrit en jaciments d'Àustria, Romania, sud de França i de la Conca de Tremp.

Les impressions d'aquestes fulles de palmera presenten les següents característiques morfològiques: fulles costapalmades, induplicades i lanceolades; costa llarga i estreta; segments fusionats o lleugerament disseccionats als marges de la fulla, rec-



tilinis, units amb angle agut a la costa i decurrentment a la part apical d'aquesta estructura. Els exemplars de Fumanya són els més complets que es coneixen d'aquest parataxo (presenten làmines senceres amb pecíols en connexió) i s'hi han identificat fulles en diferents estadis de creixement. Això indica que les fulles van ser separades de l'arbre per algun tipus d'acció traumàtica i dipositades prop d'on la planta vivia, en un ambient de maresma litoral salobre, d'acord amb el paleoambient inferit. Els exemplars de Fumanya podrien ser dels últims que varen existir abans de la seva extinció.

### Contribució a la reconstrucció paleoecològica i paleoambiental de l'àrea pirinenca durant el Maastrichtià

Un dels aspectes més importants del projecte EXCAVA recau en l'estudi de la paleoecologia dels ambients de la Formació Tremp que aflora en el Sinclinal de Vallcebre, especialment pel que fa als materials transicionals de la seva base, que contenen les petjades de titanosaure de Fumanya, a més d'una gran quantitat de restes vegetals i d'invertebrats. En aquest

**Material didàctic elaborat per l'equip de paleontòlegs de Ruta Minera (ARXIU RUTA MINERA)**

sentit, el 2008 s'ha començat un treball ambiciós amb l'objectiu de reconstruir l'ecosistema inferit per aquestes restes fòssils i aquests jaciments. Les prospeccions tant d'invertebrats com de restes vegetals efectuades en anys anteriors estan donant el seu fruit en relació als objectius d'aquest estudi.

Per una banda, s'ha avançat en la identificació de restes vegetals i en el treball de caracterització de la comunitat vegetal del Maastrichtià inferior del Sinclinal de Vallcebre associada a restes de dinosaure. Aquesta, seria una comunitat de baixa diversitat dominada per palmeres i coníferes cheirolepidiàcies. Per l'altre, s'han publicat els primers resultats d'un treball pluridisciplinari que inclou l'estratigrafia, sedimentologia, malacologia i paleobotànica del nivell de calcàries margoses basals de la Formació Tremp als jaciments de Fumanya.

L'estudi de les orientacions de les restes vegetals (fulles i troncs de palmera i branquillons de *Frenelopsis*) està aportant dades per conèixer el medi deposicional de la unitat litològica que conté les

petjades de dinosaure (calcàries margoses basals). Les dades sedimentològiques indiquen que l'ambient corresponia a una immensa maresma litoral i totes les evidències geològiques indiquen un medi aquàtic de molt baixa energia.

Els patrons d'orientacions de les plantes confirmen aquests indicis, doncs fulles i troncs apareixen sense un patró d'orientació definit. En canvi, trobem els branquillons de *Frenelopsis* en molts casos orientats seguint una direcció E-W, la qual correspondria a l'eix d'orientació de la conca segons el models paleogeogràfics. En aquest treball, hem hipotetitzat que els branquillons de *Frenelopsis* s'haurien orientat a causa dels efectes de les mareas, que no haurien sigut prou forts per poder orientar restes vegetals més grans i pesades com les fulles i troncs de palmera.

### Molta feina i unes conclusions

Els treballs realitzats durant el trienni 2006-2008 al Sinclinal de Vallcebre han fet possible la documentació paleontològica més completa fins ara en aquesta àrea, incloent restes indirectes i directes de vertebrats, plantes i invertebrats.

En alguns dels treballs realitzats en aquesta zona s'han utilitzat tecnologies avantguardistes en paleontologia, com per exemple l'aplicació per primera vegada de la tecnologia LiDAR. A part de permetre l'obtenció i anàlisi de les dades que era impossible amb els mètodes clàssics, fa possible la conservació en format digital d'un patrimoni icnològic que es troba greument amenaçat per les inclemències ambientals.

Les dades obtingudes estan permetent avançar en el coneixement dels patrons de locomoció, sociabilitat, hàbits reproductius i paleoecologia dels sauròpodes titanosaures del Cretaci superior europeu. També han permès avançar en el coneixement taxonòmic i biostratigràfic d'altres vertebrats com cocodrils, dinosaures teròpodes, tortugues i peixos cartilaginosa.

Els estudis sedimentològics i de les restes fòssils de plantes i mol·luscs estan aportant informació clau per entendre els ambients associats a sauròpodes titanosaures en els Pirineus.

La integració de la informació obtinguda en els estudis realitzats al Berguedà amb la d'altres conques dels Pirineus (Coll de Nargó, Tremp, Àger, Areny, Sud de França) permetrà un coneixement molt més complet del que tenim ara sobre la diversitat i successions de faunes i flors del Cretaci superior del Sud d'Europa.

Els jaciments del Maastrichtià continental de l'àrea de Fumanya tenen una important rellevància científica i un gran potencial en divulgació. Això queda demostrat pels articles ja publicats en revistes internacionals de prestigi, fet que obre les portes a una divulgació seriosa que tingui com a base un material actualitzat i rigorós.

Tant de bo l'obertura del centre d'interpretació de Dinosaures de Fumanya serveixi per impulsar una nova etapa de prospeccions, excavacions i estudis d'un jaciment que té el màxim reconeixement patrimonial com a BCIN.

**Consorci Ruta Minera**