Una explotació de coure prehistòrica: la mina 'de la Turquesa' (o del Mas de les Moreres), Cornudella de Montsant, el Priorat, Tarragona

Núria Rafel • Aleu Andreazini • Selina Delgado-Raack • Mark A. Hunt • Joan Carles Melgarejo • Ignacio Montero • Ana Luísa Rodrigues • Ignacio Soriano

ABSTRACT

In this paper we synthetically present the results of the studies carried out at La Turquesa prehistoric copper mine, preceded by an introduction to the oldest European mining, that has the role of contextualizing the mine. The results of the archaeological excavations carried out and the research on the structure and mineralogy of the mine (where there is not turquoise) within the framework of its local geological environment are presented. The analysis of the more than one hundred stone mining tools found in the course of the excavations shows their undoubtedly prehistoric nature, as well as their main characteristics from the point of view of the raw materials used and their manufacturing processes. The archeometallurgical study has focused on two types of characterisation of the ores from the mine: elemental analyses (pXRF and X-ray diffraction) and characterisation by lead isotope analysis to define the isotopic field, allowing comparative studies to be made of the archaeological finds and identification of possible prehistoric objects manufactured using this copper ore. This archaeometallurgical research has shown the affinities between some ores and object sand indicates the use of the copper of La Turquesa mine in the elaboration of some of them. The results of a pioneering research implemented with the aim of verifying the existence of mining operations using the fire-setting technique are also presented. All this allows to establish the period of exploitation of the mine between the Chalcolithic and the Middle Bronze Age (2,800 to 1,300 BC), helps to know prehistoric mining in Catalonia, the character of the communities that occupied the territory and its relationship with mining and exchange and shows the importance of protecting and investigating the prehistoric mining heritage.

KEYWORDS

Prehistoric copper mining, lithic mining tools, elemental analysis, lead isotope analysis, Chalcolithic, Ancient and Middle Bronze Age, crandallite.

INTRODUCCIÓ: LA MINERIA PREHISTÒRICA EUROPEA

La mineria no metàl·lica

Equipats amb uns coneixements rudimentaris i un instrumental tècnic de possibilitats limitades, els europeus prehistòrics iniciaren ja en el paleolític l'aventura extraordinària d'explorar les entranyes de la Terra. Els inicis de la mineria a Europa no estan vinculats a l'extracció de minerals metàl·lics, sinó que són molt anteriors i estan lligats, especialment, a l'extracció de tres matèries minerals: l'ocre, el sílex, i la cal·laïta. El primer, el sílex, era un material utilitari que s'emprava per a fer eines de pedra de tot tipus (ganivets, puntes, burins, dents de falç, raspadors, entre molts d'altres), especialment en el llarg període de la prehistòria en que encara no es coneixien les possibilitats dels minerals metàl·lics per a fer eines. Tot i que el sílex és fàcil d'obtenir en afloraments superficials, la gran demanda de què fou objecte, especialment en el neolític, motivà explotacions subterrànies a la recerca de més volum de material i sobretot de mineral de més qualitat. L'ocre fou utilitzat com a material per a les representacions pintades murals i també com a pintura corporal, a la qual, a més del seu elevat valor simbòlic, sembla que se li atorgaven qualitats com a repel·lent d'insectes i de protecció del sol i del vent. S'usava també com a medecina, com a conservant de matèria orgànica i com a adhesiu (Cortell, 2016). En definitiva, unia al seu importantíssim paper simbòlic usos de caràcter funcional [Fig. 1]. El que els arqueòlegs anomenem cal·laïta –a causa de la descripció i la denominació del naturalista del segle I dC Plini el Vell (*Nat. Hist.* XXXVII, 33)– reuneix una sèrie d'espècies de fosfats d'alumini (variscita, metavariscita, crandallita, wavellita, turquesa...) dels quals els més coneguts són la variscita i la turquesa. Ara com ara, sembla que la cal·laïta tingué només una funció simbòlica: a través de la seva conversió en ornaments (especialment denes de collaret) els antics la convertiren en el període neolític en un bé de prestigi social, objecte d'ostentació en vida i en el Més Enllà, com ho posa de manifest la seva abundància en sepulcres.

Fig. 1. Ocres recuperats a les mines neolítiques de Can Tintorer (Gavà).
Foto: cortesia de Pepa Gasull.

Les diferents característiques de les explotacions mineres més antigues no depenen tant dels recursos tècnics, molt similars arreu durant molts anys, com de les característiques geològiques del terreny i de la intensitat de cada explotació. Sense que es pugui observar, doncs, una evolució en el temps, les mines europees més antigues alternen labors en trinxeres a cel obert, pous, túnels i galeries. L'instrumental amb què comptaven era fet de cornamentes i ossos d'animal, de fusta i de pedra. Amb aquests materials es feien cisells, punxons, pales, tascons, masses i pics, les principals eines amb què comptava la mineria prehistòrica (Hunt, 2005). Des de moments ben antics es documenta en algunes explotacions la tècnica coneguda amb el nom de *fire-setting*, que consistia en escalfar mitjançant focs localitzats la veta mineral i refredar-la sobtadament tot seguit, de manera que es produïssin fissures que facilitessin la fragmentació del material encaixant. Amb la mateixa finalitat es documenta també en la mineria europea l'ús de tascons de fusta que s'introduïen en els punts d'extracció i es mullaven per tal que l'augment de volum de la fusta ajudés a la formació de clivelles. Travesses de fusta, trespeus, cordes, escales, bosses-sacs de pell, cabassos de matèria vegetal i torxes impregnades amb greixos i resines completaven el migrat instrumental amb el qual durant mil·lennis els europeus prehistòrics explotaren els minerals [Fig. 2].

Les mines més antigues conegudes fins ara es refereixen a l'explotació d'ocre (òxids i hidròxids de ferro). Fins ara a Europa se n'han documentat cinc: Tzines (Grècia), Rydno (Polònia), Lovas (Hongria), Bad Sulzburg (Alemanya) i Grotta della Monaca (Itàlia) (Levato, 2016). La més antiga és la de Tzines, a l'illa de Thassos, una explotació en galeries datada entre 18.350 i 4.400 aC (és a dir, des del paleolític superior fins el neolític) [Fig. 3]. La mina de Lovas, a Hongria, era una explotació en pous que es data entre 13.600 i 13.000 aC (paleolític superior). A Rydno (Skarżysko-Kamienna, Polònia) durant el paleolític superior i el mesolític (21.000-9.500 aC) l'explotació es realitzà mitjançant grans pous a cel obert.

La resta de mines d'ocre que hem esmentat són ja posteriors. La de Bad Sulzburg (Baden-Württemberg, Alemanya) s'explotava mitjançant l'excavació de petites cavitats [Fig. 4] i a Rydno (Skarżysko-Kamienna-Wąchock, Polònia), tot i que molt posterior (inicis del V mil·lenni aC), mitjançant pous a cel obert que per mitjana tenien 4 metres de llarg, 1 metre d'ample i 3 metres de profunditat. La mina coneguda com a Grotta della Monaca (Sant'Agata di Esaro, Itàlia) és una gran cavitat

Fig. 2. Reconstrucció artística dels treballs a la mina de sílex neolítica de Cissbury Ring, Worthing (Anglaterra).
Font: P.P.S. Brinded-National Trust.

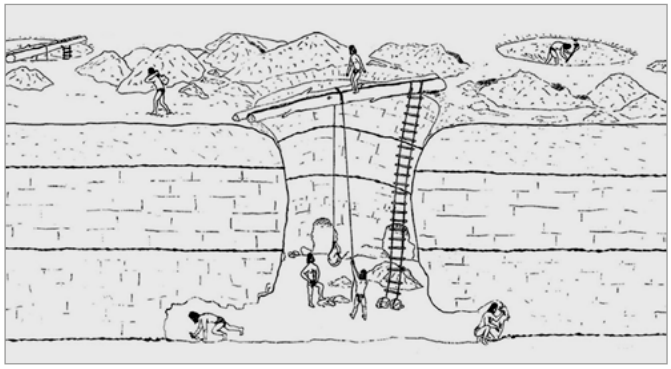


Fig. 3. Pou 1 de la mina d'hematites de Tzines, Thassos (Grècia). Es tracta d'una galeria mutilada per treballs miners posteriors que mesurava en el moment de la troballa uns 7 metres de recorregut. Foto: Deutsches Bergbau-Museum, Bochum.

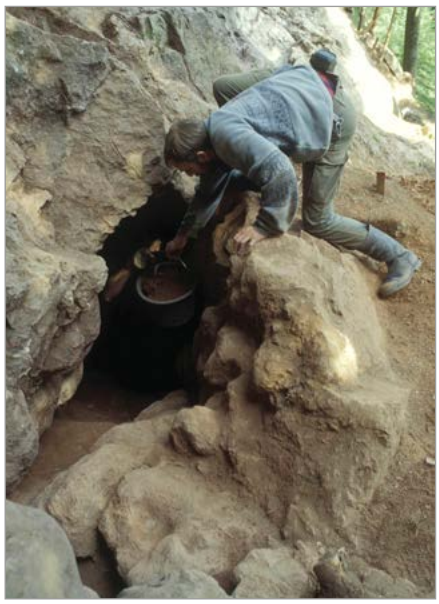


Fig. 4. Entrada del pou 1 de la mina d'ocre de Bad Sulzburg, Baden-Württenberg (Alemanya). Foto: Gert Goldenberg-Institut für Archäologien, Universität Innsbruck; font: Levato (2013).

càrstica (mig quilòmetre de recorregut) a l'interior de la qual els prehistòrics excavaren galeries suportades per pilars per tal d'explotar els òxids de ferro i que s'ha datat de final del V mil·lenni i primera meitat del IV aC [Fig. 5]. Aquest segon grup de mines d'ocre ja coexisteixen amb la important mineria del sílex que es documenta a Europa a partir del neolític.

Així com la mineria d'òxids i hidròxids de ferro, la més antiga documentada a Europa, ens és coneguda per una sèrie d'exemples de nombre limitat, la mineria del sílex neolítica coneix una veritable explosió, tant pel que fa a la quantitat d'explotacions conegudes com pel que fa a la seva complexitat. Si bé moltes d'elles es basen en un sistema d'explotació per pous poc profunds o bé en sistemes de rases de secció en V, de 3-4 metres d'amplada i longituds que arriben als 10 metres, en diversos indrets d'Europa es desenvolupa una mineria basada en sistemes extractius més complexos, de tipus túnel i galeria. És també en aquest període cronològic que es daten les explotacions mineres i l'ús ornamental intensiu de la cal·laïta.

L'explotació de cal·laïta més ben coneguda i estudiada fins ara és en territori català. Es tracta de la mina de Can Tintorer (Gavà, Barcelona), datada de finals del V mil·lenni a inicis del IV aC, és a dir en el neolític. L'àrea d'explotació ocupa unes 230 Ha, de les quals solament se n'ha excavat i estudiat una petita part [Figs. 6 i 7]. La posició vertical dels estrats obligà els miners de Can Tintorer a l'extracció del mineral mitjançant una xarxa sub-

Fig. 5. Instrumental de miner prehistòric exhumat a la mina italiana de la Grotta della Monaca (masses, masses-destrals i pics). Alguns d'ells presenten una ranura transversal per tal de fixar-hi els mànecs amb cordes i material adhesiu. Font: Breglia *et al*. (2016).

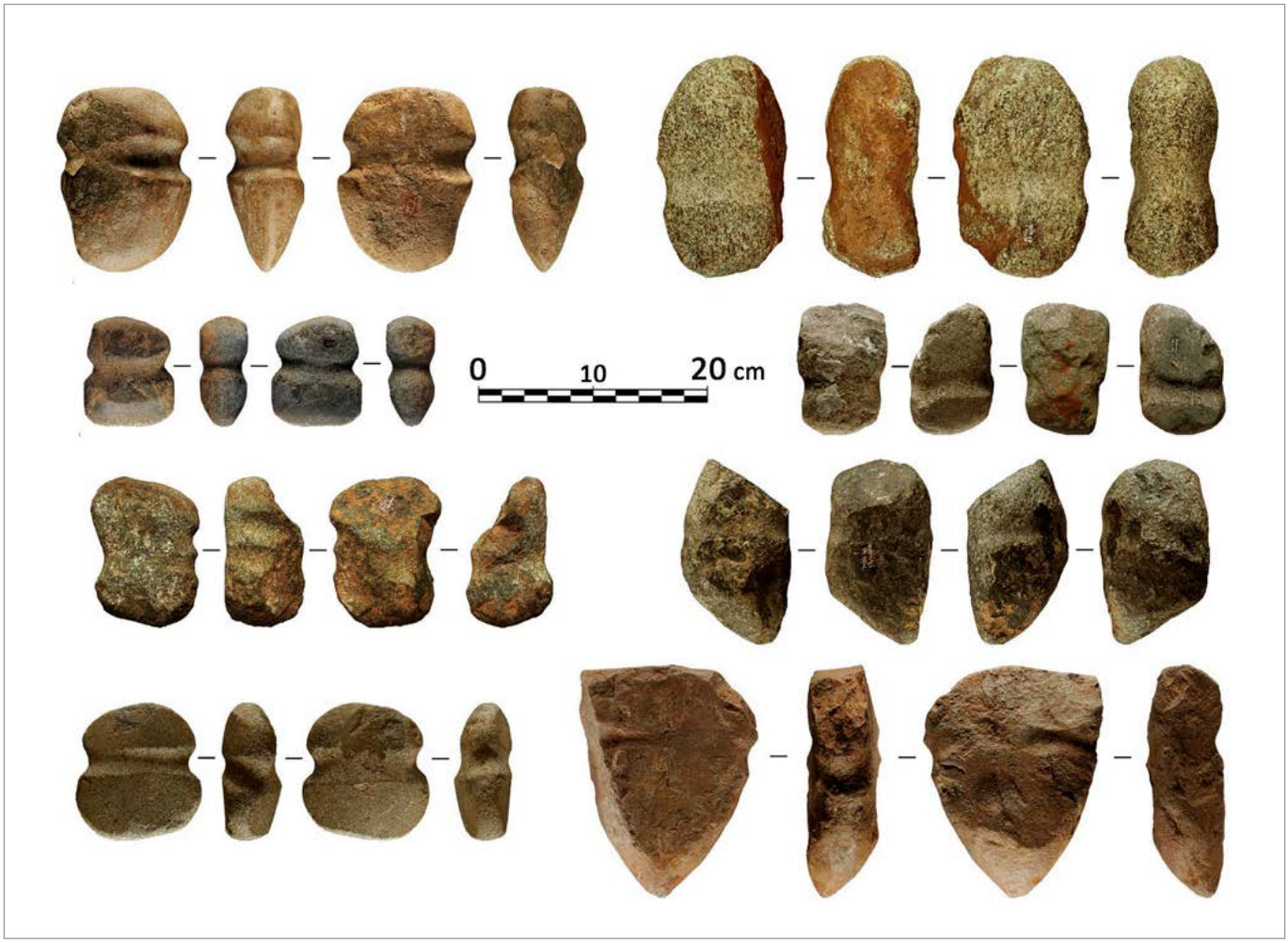


Fig. 6. Mina 8 de Can Tintorer, Gavà, Barcelona. Foto: Josep Pagans; font: Edicions 62 SA.

Fig. 7. Mina 11 (sala D) de Can Tintorer, Gavà, Barcelona. Foto: cortesia de Pepa Villalba.

terrània de pous, galeries i cambres interconnectades que en ocasions poden assolir varis quilòmetres, sent la profunditat màxima que van atènyer els 14 metres. Les excavacions a la mina han documentat l'existència de pous quasi verticals que amb petites plataformes cada 2 metres es van encadenant els uns amb els altres. Alguns pous tenen la funció de comunicar entre ells els diferents nivells d'explotació de la xarxa general. Les anomenades galeries de trànsit, estretes i de poca alçada, tenen com a objectiu assolir una nova mineralització i, finalment, les sales d'explotació són grans espais de dimensions molt variables (Villalba, 2000).Amb tot, cal dir que tots aquest tipus no es presenten mai isolats sinó que formen tots ells part de xarxes d'explotació complexes [Fig. 8]. La cal·laïta d'aquest jaciment es correspon majoritàriament amb variscita. Tot i que aquesta fou l'objectiu de l'extracció, també s'aprofitaven, complementàriament, sílex, òpal, quars i ocre. La cal·laïta (variscita) de Can Tintorer es distribuïa a tota Catalunya i a tota la vall de l'Ebre, tot arribant fins al Midi francès (Villalba, 2003).

Com ja hem dit, durant el neolític prolifera a Europa la mineria del sílex, de la qual en mencionarem solament alguns casos significatius a tall d'exemple. En general es pot dir, que les mines neolítiques europees comparteixen els sistemes d'extracció. Les diferències entre elles no venen donades tant per un diferent desenvolupament tecnològic i cultural sinó més aviat per factors inherents a les característiques de cada jaciment. La profunditat, posició i morfologia de les mineralitzacions i la compacitat i duresa del material encaixant determinen les diferents formes d'atac. Villalba (2000) ha sintetitzat els tipus d'explotació més comuns:

1. Sales de planta més o menys circular amb un pou d'accés.
2. Galeries que es desenvolupen de forma radial a la base de l'accés, tot formant a vegades el que s'ha anomenat una planta "en margarida",que alguns cops presenta, a més, alvèols.
3. Sales de planta aproximadament circular que s'agrupen formant galeries de llarg recorregut.
4. Galeries llargues amb sales irregulars.

El jaciment miner de Spiennes (Mons, Bèlgica) constitueix una de les mines de sílex més grans d'Europa que, d'altra banda, fou objecte d'un descobriment precoç en els anys 60 del segle XIX. Spiennes forma part del Patrimoni Mundial de la UNESCO. En l'indret on s'ubica, el substrat geològic és una creta del Cretàcic superior coberta per sorres glauconítiques del Terciari i *loess* de la darrera època glacial (Würm o Wechselià) que inclou vetes molt abundants i de molt gruix de sílex negre. Correspon, com tantes altres mines de sílex europees, al neolític i es data entre 4.350 i 2.300 aC, més de dos mil·lennis durant els quals sembla que es treballà ininterrompudament a la mina. El jaciment ocupa entorn d'unes 100 Ha que amaguen una gran diversitat de solucions tecnològiques per a l'extracció del mineral i que, com succeeix sovint en l'estudi de la mineria antiga, solament han estat parcialment excavades i estudiades arqueològicament. Milers de pous d'entre 0,80 i 1,20 metres de diàmetre i de fins a 16 metres de profunditat donen accés a una immensa xarxa de galeries. La mineria de Spiennes [Figs. 9 i 10] es caracteritza per fer un treball en galeria que anava explotant les diferents vetes estratificades de sílex, que usualment comencen a uns 5 metres de profunditat. S'ha pogut constatar que en algunes labors es menyspreaven els primers estrats de sílex per anar a buscar els més profunds i de major qualitat. El sistema de l'extracció del mineral consistia en

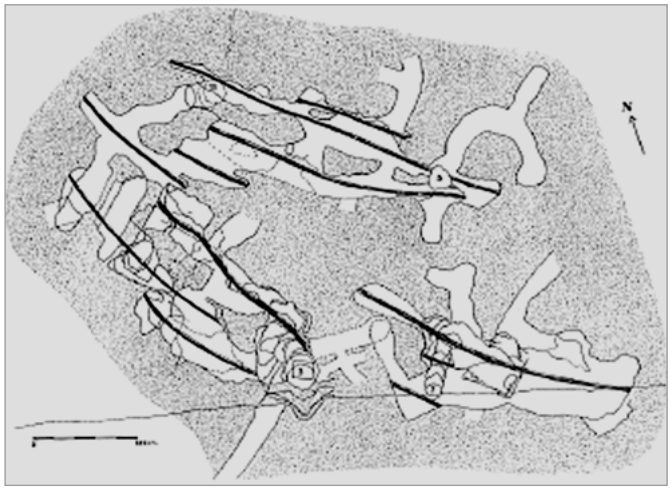


Fig. 8. Planta on es mostra la relació de la xarxa formada per les mines 5, 11, 3 i 7 de Can Tintorer, que es comuniquen a profunditats variables, amb els estrats mineralitzats.
Font: Villalba (2003).

Fig. 9. Mina de sílex de Spiennes, Mons (Bèlgica).
Foto: Jean-Pol Grandmont (Creative Commons).

anar seguint les vetes de sílex amb galeries, tot deixant la veta a la paret d'aquesta o bé a la seva base. En d'altres ocasions, però, s'anava deixant la veta de sílex al sostre per després abatre el mineral de cop en el darrer moment de tal manera que en caure al sòl el bloc de sílex es fragmentava (el mètode dit "fulminant" o *striking*). Per tal que el bloc del sostre aguantés fins el moment de "fulminar-lo" feien parets mitgeres en la creta i l'apuntalaven amb fusta. El fet que, a més de les mines, s'hagin documentat restes d'hàbitat i taller en el jaciment permet conèixer millor que en d'altres mines els sistemes d'explotació i el marc social. El sílex era distribuït tant en brut com manufacturat i fornia d'aquest material a les comunitats situades al voltant de les mines en un radi d'uns 50 km; tanmateix, alguns productes específics (destrals, làmines i algun estri sobre esclat) eren intercanviats amb comunitats situades a distàncies de més de 150 km (Collet *et al.*, 2008).

Fig. 10. Mina de sílex de Spiennes, Mons (Bèlgica). Foto: J. L. Dubois_SRPH; font: <http://www.minesdespiennes.org>.

Les mines de sílex vinçat de Krzemionki (Polònia) constitueixen, juntament amb Spiennes i les mines de Grimes Graves i Cissbury a Anglaterra, un dels conjunts més grans i representatius de la mineria del sílex neolítica europea. L'explotació va estar activa des del neolític fins l'edat del bronze. Les seves aproximadament 4.000 labors mineres representen totes les tècniques d'extracció documentades en la prehistòria [Fig. 11]. Els tipus principals, del més senzill al més complex són el pou (aprox. 4 m de boca x 3 m de profunditat), la galeria-nínxol (pous amb galeries tipus nínxol que tenen uns 2 m de desenvolupament i arriben a 4,5 m de profunditat), les mines de pilars (que atenyen els 6 m de profunditat i estan integrades per un pou i galeries que arriben fins al 7 m, amb pilars per evitar el col·lapse del sostre) i les mines de cambra (que estan integrades per un pou profund, que pot arribar a 9 metres, i una àmplia i complexa excavació amb un sistema de cambres i corredors que atenyen els 15 m). Els mètodes d'explotació d'aquesta mina posen de manifest un profund coneixement empíric de la geologia del territori, que és la que mena a adoptar unes solucions extractives o unes altres i, d'altra banda, constitueixen un catàleg de les solucions tècniques més avançades de l'èpo-

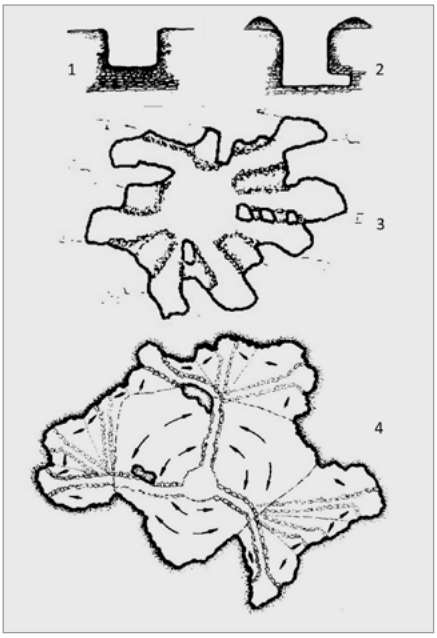


Fig. 11. Tipus principals de treballs d'explotació a la mina de Krzemionki (Polònia): 1) pou, 2) galeria-nínxol, 3) mina de pilars, 4) cambra. Font: composició a partir de Migal (1997).

ca [Fig. 12]. Les mines de cambra més grans i complexes atenyen els 9 metres de fondària i tenen àrees d'uns pocs centenars de metres quadrats (Migal, 1997; Welc *et al.*, 2016). Les datacions radiocarbòniques situen la mina entre el 3.500 i el 2.900 aC (Babel *et al.*, 2005). La zona minera era envoltada de campaments de miners i d'artesans del sílex que manufacturaven peces a partir del material extret. El sílex de Krzemionki no tenia només una distribució regional, sinó que peces manufacturades al jaciment es troben a més de 650 km de distància: Lituània, Ucraïna, Txèquia, Alemanya, Eslovàquia. Igual que les de Spiennes, les mines de Krzemionki han estat declarades Patrimoni Mundial per la UNESCO.

L'única explotació de sílex excavada fins ara a Espanya és la de Casa Montero, a Madrid. Descoberta casualment a inicis d'aquest segle, les prospeccions portades a terme indiquen l'existència de quasi 4.000 labors. L'explotació va estar viva solament un període de temps avaluable en un segle aproximadament, a partir d'una data que cal situar entre 5.350 i 5.250 aC. De moment s'han excavat uns 338 pous, una petita part dels existents [Fig. 13]. El sistema quasi exclusiu d'excavació en aquesta mina és el pou, tot i que, molt minoritàriament, hi ha algunes extraccions a cel obert. Els pous són estrets (mitjana de 1,5 m de boca), de manera que només hi pot treballar una persona, i tenen profunditats variables, que arriben fins als 9,26 m [Figs. 14, 15 i 16]. Les lleixes, els encaixos per posar els peus a les parets dels pous, l'afusament d'aquests, constitueixen recursos per maximitzar el treball. Com en moltes altres mines de sílex europees, a Casa Montero hi havia tallers a peu de mina per transformar el mineral obtingut i fer-ne peces, en el cas d'aquest jaciment madrileny, especialment fulles de destral. Sembla que les poblacions que foren les responsables dels processos d'extracció i talla constituïen grups amb una certa mobilitat i que només treballaven estacionalment a la mina, concretament durant la primavera, com han posat de manifest els taxons vegetals identificats (Consuegra *et al.*, 2018).

En definitiva, amb aquest ràpid repàs als primers passos de la mineria europea, hem pogut veure, doncs, com abans de l'inici de la mineria metàl·lica els pobladors europeus comptaven ja amb els coneixements miners i els recursos mínims per tirar endavant explotacions de nous materials.

La més antiga mineria metàl·lica

Fins recentment ha estat un lloc comú atribuir l'origen de la mineria i la metal·lúrgia europea a artesans del Pròxim Orient, igual que tantes altres coses de la primera història europea. Tot i que la influència del Pròxim Orient cap a l'est i cap a l'oest és innegable, avui sabem que la mineria i la metal·lúrgia europees s'inicien contemporàniament a les del focus civilitzador oriental i, a més, el seu context cultural i tecnològic és diferent. De manera que la vella teoria de l'*ex Oriente lux* sembla que comença a trontollar pel que fa a l'aspecte de què tractem en aquestes línies.

A partir del calcolític i durant tota l'edat del bronze la mineria metàl·lica, i més concretament del

Fig. 12. Mina de pilars a Krzemionki (Polònia). Foto: Krzemionki Archaeological Museum and Reserve "Krzemionki".

Fig. 13. Casa Montero, Madrid. La zona centre-est del jaciment durant l'excavació (2005-2006). Foto: Visión Aérea SL, Proyecto Casa Montero; font: Susana Consuegra.

Fig. 14. Casa Montero, Madrid. El pou UE 3027 ja excavat i vist des de la boca. Foto: Proyecto Casa Montero; font: Susana Consuegra.

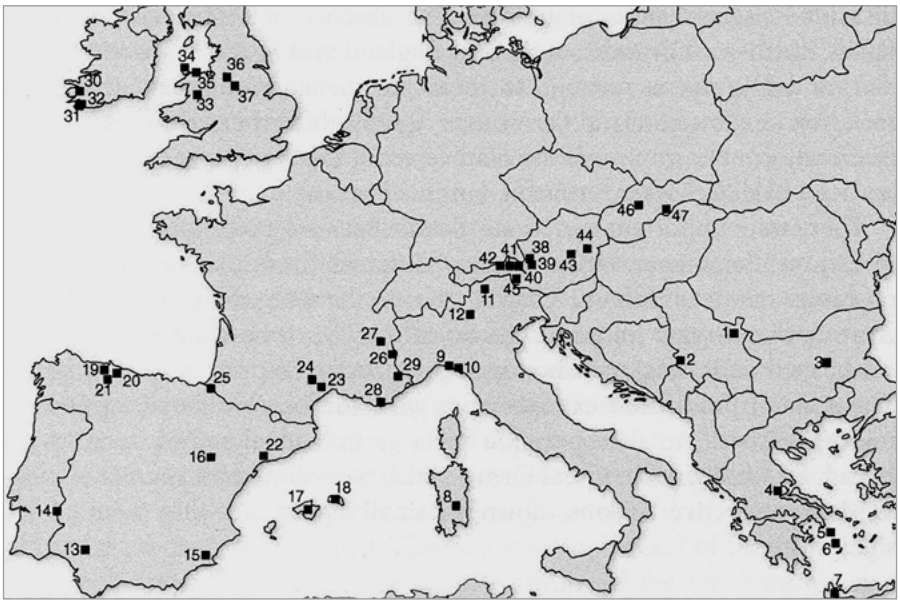
Fig. 15. Casa Montero, Madrid. El pou UE 3027 ja excavat i vist des del fons. Foto: Proyecto Casa Montero; font: Susana Consuegra.

coure, es va consolidant i assoleix fites importants, que no es veuran ja superades fins l'època romana. Així mateix la pràctica de la mineria es va estenent als diferents territoris europeus que compten amb jaciments de coure [Fig. 17] i sorgeixen gran quantitat de mines. Algunes d'elles són de poca magnitud i supleixen una demanda estrictament local; d'altres, però, superen en molt l'escala local. Una obra molt recent (O'Brien, 2015) sintetitza els coneixements amb què comptem fins ara sobre la mineria del coure europea, des dels seus inicis a finals del VI mil·lenni fins a la segona edat del ferro. Alguns exemples ens en donaran una visió general.

La primera mineria europea s'origina als Balcans, on es documenta una metal·lúrgia molt precoç, com ho posen de manifest les restes d'escòries de coure localitzades al poblat de Belovode (Sèrbia) en nivells que es daten a finals del VI mil·lenni aC o a la primeria del V. Entre el 5.400 i el 5.300 aC (calcolític) s'inicia l'explotació del coure a la mina de Rudna Glava (Majdanpek, Sèrbia), la més antiga mina de coure coneguda ara com ara a Europa. Són dates coetànies a les del Pròxim Orient, amb la diferència que sembla que l'escala de la producció

Fig. 16. Casa Montero, Madrid. Marques d'instrumental miner a les parets d'un dels pous. Foto: Proyecto Casa Montero; font: Susana Consuegra.

Fig. 17. Mines i districtes amb explotacions prehistòriques de coure a Europa: 1) Rudna Glava, 2) Jarmovac, 3) Ai Bunar, 4) Othtrys, 5) Kythnos, 6) Seriphos, 7) Trodos, 8) Funtana Raminosa, 9) Libiola, 10) Monte Loreto, 11) Trentino, 12) Capolungo, 13) Chinflón, 14) Mocissos, 15) Sierra de Orihuela, 16) Loma de la Tejería, 17) Mallorca, 18) Mitja Lluna, 19) El Áramo, 20) El Milagro, 21) La Profunda, 22) Montsant, 23) Cabrières, 24) Bouco-Payrol, 25) Causiat, 26) Saint-Véran, 27) Les Rousses, 28) Maraval, 29) Clue de Roua, 30) Ross Island, 31) Mount Gabriel, 32) Derricarhoon, 33) CWmystwyth, 34) Parys Mountain, 35) Great Orme, 36) Alderley Edge, 37) Ecton, 38) Michelsberg, 39) St) Veit, 40) Saalfelden-Becken, 41) Kitzbühel-Kelchalm, 42) Schwaz-Brixlegg, 43) Eisenerz, 44) Prein, 45) Virgental, 46) Spania Dolina-Piesky, 47) Spanie Pole. Font: O'Brien (2015).



fou molt més gran als Balcans. No obstant això, algunes datacions suggereixen explotacions de principis del VI mil·lenni aC, que, si es confirmen, indicarien una fase d'explotació premetal·lúrgica. Rudna Glava és en realitat un jaciment de ferro (magnetita i pirrotita) associat a petites mineralitzacions de coure (principalment calcopirita), però que compta amb una coberta molt potent (20 m) de *gossan* amb malaquita, atzurita i cuprita. Les explotacions prehistòriques se centraren sobre tot en la malaquita. El sistema d'explotació consisteix en anar seguint les vetes de mineral; és a dir, no excaven pròpiament pous i galeries, sinó que les perforacions són túnels que constitueixen el negatiu de la veta.S'ha estimat que extreien uns 250-300 quilos de coure a l'any.La mina estigué en explotació durant uns 700 ó 800 anys, però d'altres mines sèrbies continuaren fornint la regió de coure.

A la mina polimetàl·lica d'Ai Bunar (Stara Zagora, Bulgària) es beneficiaren materials secundaris (especialment malaquita i atzurita) de la zona d'oxidació, d'una potència de més de 25 metres. També aquí es segueixen les vetes mineralitzades, però amb un sistema de rases, que per terme mitjà tenen uns 15 a 20 metres de llargària, tot i que n'hi ha que arriben als 110 m. L'amplada de la rasa ve determinada per la potència de la veta (0,5 a 10 metres). Les profunditats d'aquestes rases són molt variables, algunes tenen entre 2 i 4 metres de fondària, mentre que d'altres arriben als 30 metres. L'escala de l'explotació és molt superior a la de Rudna Glava: s'ha estimat que s'extragueren entre 20.000 i 30.000 tones de roca que proporcionaren unes 500 t de coure. L'evidència isotòpica indica que el coure d'Ai Bunar tingué una àmplia distribució a la zona balcànica i carpàtica [Fig. 18].

Great Orme (Llandudno, Gran Bretanya), un jaciment amb mineralitzacions de calcopirita, és una de las grans mines de coure europees, tot i que molt posterior a les que acabem d'esmentar: s'hi treballà ja en l'edat del bronze, entre el 1.800 i el 600 aC [Fig. 19]. L'explotació s'adreçava fonamentalment als nivells d'oxidació amb malaquites i atzurites i avançava mitjançant un intricat sistema de galeries-túnel molt estretes que resultaven del seguiment dels filons. Un cop aquests explotats, el material de rebuig s'utilitzava per anar reblint les galeries que s'abandonaven. Amb el temps, excavaren una gran labor a l'aire lliure (l'anomenat Vivian's Shaft) que constitueix una de les explotacions de superfície més grans conegudes en la prehistòria, amb una estimació de 28.400 tones explotades. A partir de la base i les parets d'aquesta labor s'excavaren xarxes de galeries [Fig. 20]. En total, el conegut fins ara revela 6,5 km de galeries que arriben a una profunditat de 70 m. El jaciment de Great Orme té la particularitat que la roca encaixant és, no sempre, però sí per regla general, molt tova, de forma que era fàcil atacar-la amb eines d'ós i de pedra. S'hi ha pogut constatar que en els casos en que la roca encaixant era més dura i compacta, generalment en nivells ja molt profunds, s'utilitzà la tècnica del *fire-setting*. En aquest jaciment s'han pogut identificar, a més de les extraccions mineres, àrees pel rentat del mineral vinculades a deus d'aigua i també indrets on es processava el coure, significats per la troballa de vasos de reducció i escòries. La quantitat de coure beneficiada a Great Orme va ser molt gran, cosa que fa pensar en una distribució geogràficament extensa. Fins ara no es tenien dades sobre aquest extrem; no obstant, darrerament s'ha publicat un estudi basat en anàlisis composicionals i isotòpiques (Williams, 2015) que suggereix que el coure d'aquesta mina fou, especialment durant el bronze mitjà, la principal font de proveïment de Gran Bretanya i que es distribuí fins i tot al continent europeu.

L'àrea minera de Mitterberg, a uns 50 km al sud de Salzburg (Àustria) està situada a altituds d'uns 1.200 m s.n.m. i en un terreny abrupte, cosa per la qual la seva explotació en època prehistòrica fou un veritable desafiament. És la major explotació minera coneguda fins ara a mitjan del II mil·lenni aC (edat del bronze mitjà i inicis de la del bronze final). El mineral majoritàriament explotat fou la calcopirita. Les mines de Mitterberg foren abandonades al final de l'edat del

Fig. 18. Seccions de treballs prehistòrics a la labor 4 de la mina de Rudana Glava (1) i a la mina d'Ai Bunar (2). Font: O'Brien (2015).

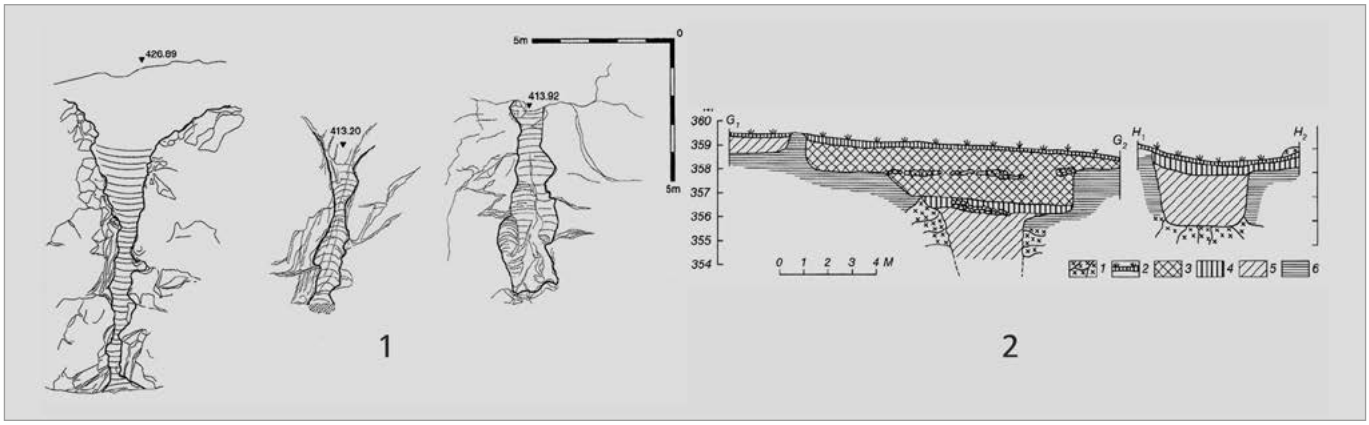


Fig. 19. Galeries d'entrada a la mina de Great Orme (Gran Bretanya). Font: <http://www.greatormemines.info/>.

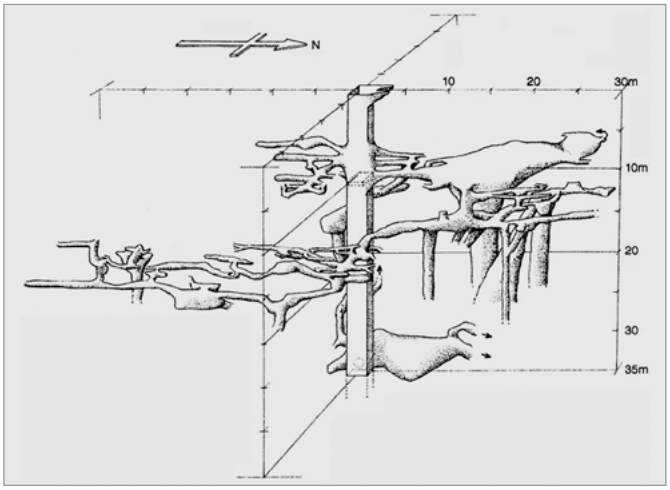


Fig. 20. Imatge tridimensional simplificada de galeries-túnel de Great Orme (Gran Bretanya), excavades a partir de la cota 10 m del Vivian's Shaft. Font: O'Brien (2015).

bronze, raó per la qual es conservaren intactes a través dels temps fins que es reinicià l'activitat extractiva entre 1837 i 1977. La reobertura de les mines fou el que donà lloc al descobriment de les labors prehistòriques i foren inicialment oficials i enginyers d'aquelles els que en feren una descripció tècnica, de la qual es depèn en bona part encara ara perquè l'activitat extractiva contemporània ha fet que la majoria de mines prehistòriques siguin avui inaccessibles. Dels estudis realitzats a finals del s. XIX i principis del XX sabem que s'iniciaven els treballs amb labors a cel obert per continuar després amb túnels i galeries inclinades que anaven constituint xarxes complexes que facilitaven la ventilació i el drenatge. Aquestes xarxes de galeries arriben fins a 160 metres de profunditat en relació a la superfície. L'àrea minera està esquitxada de tallers de processament i proporciona un paisatge arqueològic que assenyala una mineria de tipus estacional [Fig. 21]. S'ha calculat que entre els segles XVI a XIII aC s'explotaren 20.000 tones de coure que, segons estudis recents (Pernicka *et al.*, 2016), es distribuïa a Alemanya central, als Alps i als Carpats.

Tot i que la península Ibèrica és una de les zones més mineralitzades d'Europa occidental, no s'ha aprofundit encara com seria desitjable en l'estudi de la mineria prehistòrica, i més concretament en la del coure. Una de les mines ara com ara més ben conegudes és la d'El Áramo, Riosa (Astúries) –situada a la serra del mateix nom en alçades entre 1.100 i 1.200 m s.n.m–, la darrera de les grans mines europees de què parlarem en aquest article. Fou explotada a partir de mitjan III mil·lenni i continuà durant tot el calcolític i el bronze antic. Després d'un *hiatus* fou reoberta en època romana. L'explotació prehistòrica se centrà en l'alteració supergènica del jaciment (coure natiu, cuprita, tenorita, atzurita, malaquita), tot prioritzant sobre tot el benefici de la malaquita i l'atzurita. La mina està constituïda per un laberint de galeries modernes (s. XIX), romanes i prehistòriques. A aquesta darrera fase correspon un sistema de galeries i túnels de quasi un quilòmetre de longitud i que arriba als 150 metres de fondària [Fig. 22]. Els túnels estant dividits en trams per pilars, que, segons sembla, en aquest cas no tenen tant la funció de sosteniment del sostre com d'ancoratges per facilitar l'accés i el transport mitjançant cordes, atesa la forta inclinació de la major part de les perforacions. En les parts on la roca encaixant era més dura s'utilitzà la tècnica del *fire-setting*. Un cop minat un túnel, es reblia amb material de rebuig del següent que es minava, de forma que es resolia en part la qüestió de l'evacuació del rebuig, a la vegada que es consolidava el terreny. Aquesta és una pràctica que es documenta en d'altres mines prehistòriques. L'instrumental és l'usual en la mineria prehistòrica europea: pedra i os i banya. A El Áramo destaquen els útils de banya de cérvol, l'estudi dels quals ha permès apreciar que recollien la banya de cérvol a la primavera, en una organització estacional de la mineria, que era practicada els estius. Com hem anat veient, la pràctica de la mineria com una activitat de caràcter estacional és freqüent arreu d'Europa. La xarxa subterrània s'il·luminava amb petites torxes adherides a les parets de les galeries amb boles d'argila (Blas Cortina, 1996).

LA MINA 'DE LA TURQUESA' O DEL MAS DE LES MORERES

Si bé les primeres publicacions sobre la mineria prehistòrica a Catalunya compten amb quasi bé un segle, els coneixements verificats que en teníem eren fins fa poc extremament limitats i no ha estat fins molt recentment que s'ha començat a estudiar amb els paràmetres de l'arqueologia contemporània. El reconeixement del terreny, la prospecció arqueològica, l'excavació, les anàlisis de composició del mineral i el metall, així com l'analítica d'isòtops estables de plom,constitueixen les eines principals per a afrontar l'estudi de la mineria antiga.

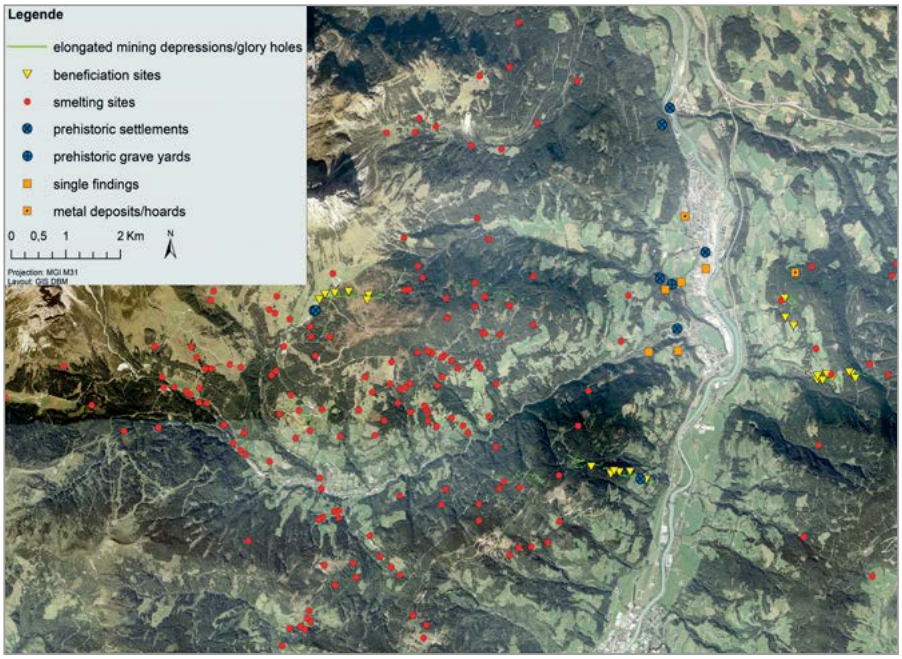


Fig. 21. El camp Mühlbach-Bischofshofen a la regió minera de Mitterberg (Àustria), amb indicació dels filons minerals (línies verdes), del llocs on es beneficiava (triangles grocs) i fonia el mineral (cercles vermells), hàbitats i tombes (cercles blaus) i troballes isolades (quadrats taronja). Es pot observar com els indrets on es porten a terme els tractaments del mineral extret (benefici i fosa) són adjacents a les zones de mineralització. Font: Pernicka *et al*. (2016).

Per la nostra part, ens hem centrat en un programa d'investigació, en curs des de l'any 2000, a les conques mineres del Priorat, cosa que ja ha proporcionat fins ara resultats tangibles (vegeu Rafel *et. al.*, 2017, i en premsa, on es pot consultar tota la bibliografia complementària), entre ells l'estudi de la mina 'de la Turquesa' que presentem en les línies que segueixen.

Emplaçament i situació patrimonial

La mina 'de la Turquesa' (Cornudella de Montsant, el Priorat, Tarragona) és en un turonet (438,6 m s.n.m.) situat al marge dret del barranc d'Arbolí, en l'indret conegut com a Solana dels Andorrans, en terrenys de propietat privada [Fig. 23]. El Mas de les Moreres, que dóna a la mina un dels noms pels quals és coneguda, forma part d'un caseriu pel qual passava l'antic camí entre les comarques del Priorat i el Baix Camp (Amigó i Espasa, 1990). El turó fou abancalat i reforestat amb pins fa uns 40 anys. A més de l'explotació prehistòrica que hem pogut documentar en el curs dels nostres treballs, es conserven un gran pou i una galeria que corresponen a explotacions contemporànies (Bareche, 1997).

En l'actualitat, un cop conclosa la darrera de les campanyes d'excavació que hi hem portat a terme, el jaciment està catalogat i protegit legalment i també físicament per una tanca, tot com a resultat del patrocini dels propietaris del Mas de les Moreres –els senyors Busquets–, de la Generalitat de Catalunya i de l'Ajuntament de Cornudella de Montsant.

La mina està catalogada per l'Instituto Geológico y Minero de España (BDMIN: Codi 0445061) i s'hi ressenyen com a minerals principals la turquesa i la variscita i com a accessoris la calcopirita i la malaquita, la qual cosa és inexacta, com

Fig. 22. El Áramo, Riosa, Astúries. Projecció vertical de les labors prehistòriques, segons M.A. de Blas Cortina. Font: O'Brien (2015).

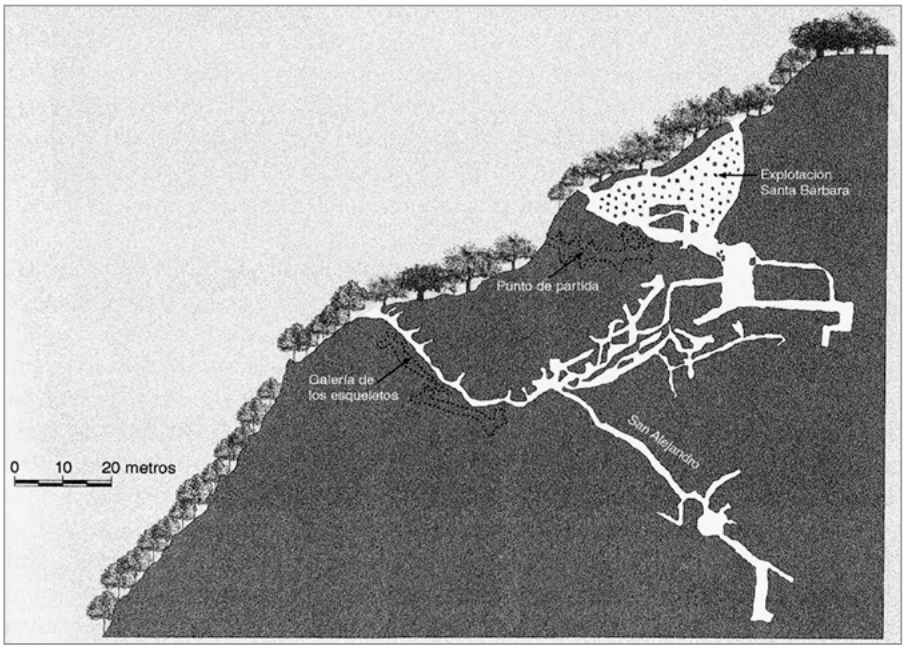
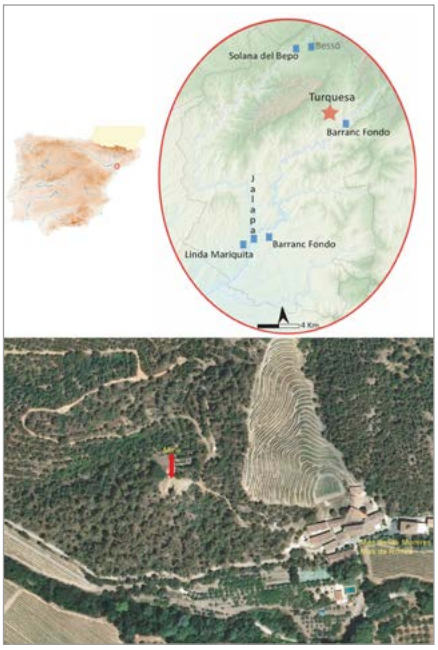


Fig. 23. Situació general i local de la mina 'de la Turquesa'. Font: Projecte Turquesa.



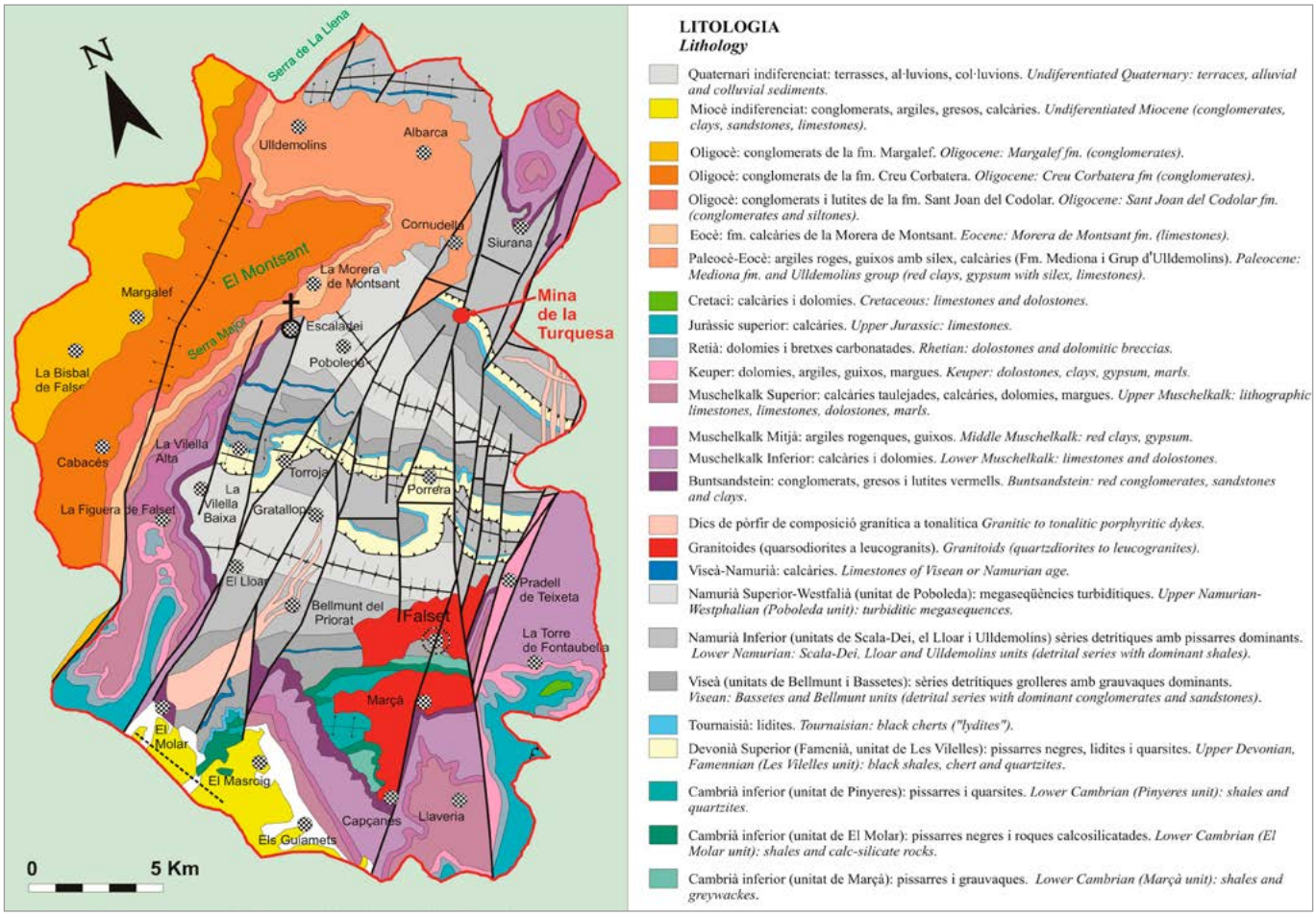
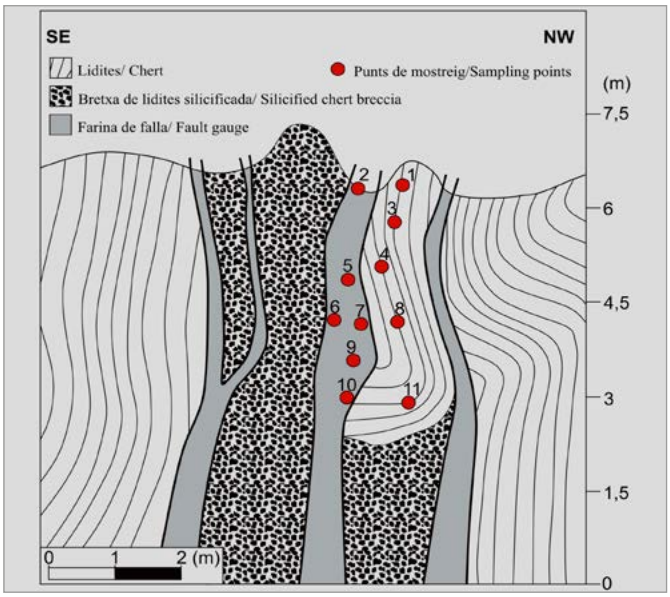


Fig. 24. Geologia del Priorat i situació de la mina 'de la Turquesa'.
Font: Melgarejo i Andreazini, basat en Melgarejo (1987).

Fig. 25. Vista de la zona explotada, desenvolupada sobre les lidites del Carbonífer. A remarcar la presència d'una zona mineralitzada ampla i molt fracturada, amb bandes filonianes silíciques. La mineralització va ser explorada amb trinxeres (dreta imatge) i explotada a partir de pous. Foto: Projecte Turquesa.

Fig. 26. Tall de la mineralització filoniana de la mina 'de la Turquesa', amb la situació dels punts de mostreig.
Font: Rafel *et al*. (en premsa).



tindrem ocasió de veure més endavant, al parlar de la mineralogia.

Estructura i mineralogia

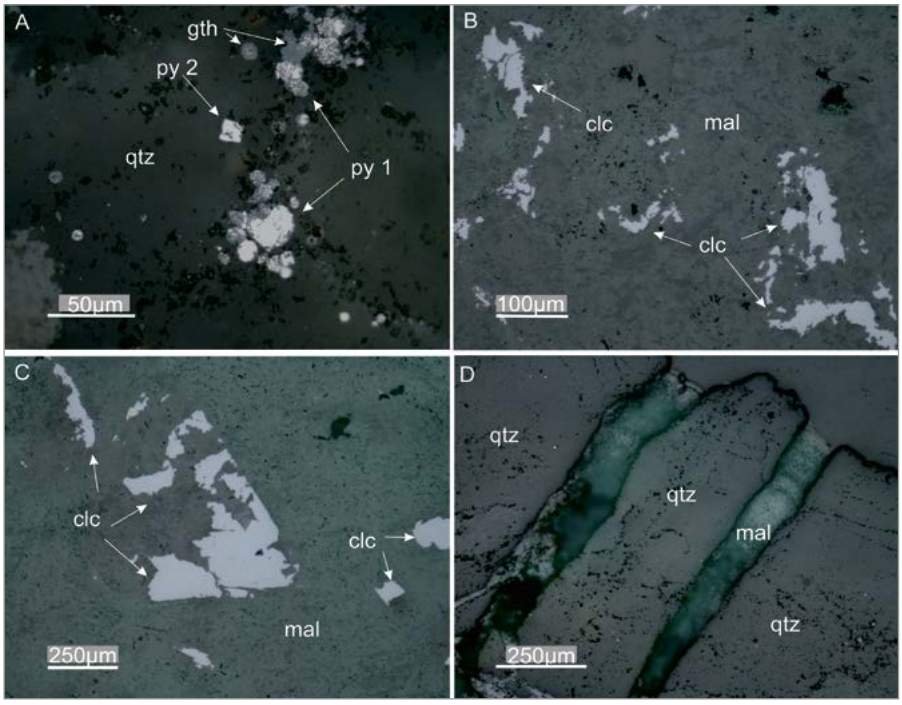
Des d'un punt de vista geològic la mina s'emplaça al sector SW de la Serralada Prelitoral en una zona on hi afloren materials sedimentaris del Devonià superior i del Carbonífer deformats per la orogènia herciniana i intruïts per granits, sobre els que jeuen sèries discordants del Mesozoic, recobertes al seu torn de forma discordant per sèries detrítiques del Terciari; el conjunt ha estat compartimentat per falles d'edat alpina [Fig. 24].

La mina 'de la Turquesa' explota una estructura filoniana subvertical que es va formar sobre falles satèl·lits de la falla de Cornudella, i que tenen per tant una direcció aproximada NNE-SSW. Es tracta en realitat de filons d'estructura complexa. Els filons encaixen en el paquet de lidites de potència decamètrica del Tournaisià. Aquests materials silícics, rígids i molt compactes, van tenir un comportament molt fràgil durant els processos de fracturació alpins. Per això, més que un filó en el sentit estricte, es tracta d'una zona filoniana, amb un filó principal de gruixària decimètrica, tot i que arrossariat, i, per tant, d'amplada molt variable, i un seguit de petits filonets i bossades que cimenten les zones de bretxa. La deformació fràgil va ser molt intensa [Fig. 25] i, per tant, es van desenvolupar àmplies bandes de farina de falla (*fault gauge*) [Fig. 26]. El conjunt de la zona mineralitzada arriba als 5 m d'amplada. Tot plegat determina una zona mineralitzada molt ample i que aflora extensament. Per això, i per la proximitat a la superfície topogràfica, s'ha pogut desenvolupar una notable zona de *gossan* i enriquiment supergènic.

Atesa la importància de l'afloramen i de la zona oxidada, no és rar que la mineralització fos fàcilment descoberta en superfície ja des de la prehistòria, que s'hi fessin inicialment labors de superfície en forma de pous i trinxeres per a reconeixement i explotació i, finalment, galeries a la base del turó per tal d'assolir la mineralització primària en profunditat (aquestes, en èpoques molt més recents, al segle XIX). Aquestes darreres operacions, tanmateix, no van cobrir les expectatives generades i aviat van ser abandonades. A la vegada, els fluids hidrotermals que hi van circular van portar associades silicificacions de la roca de caixa, que van produir la recristal·lització de les lidites.

A la mineralització, com s'ha indicat, es reconeixen des de la part més profunda a la més superficial, la mineralització primària, zones d'enriquiment supergènic i zones de *gossan* [Fig. 26].

Fig. 27. Imatges de microscopi òptic en llum reflectida, sense analitzador.
A) Framboides de pirita primària de la primera generació (py1) dispersos entre el quars (qtz) de les lidites, reemplaçats per pirita de segona generació (py2); ambdues generacions de pirita es veuen reemplaçades per goethita (gth). B i C) Detalls de la mineralització d'enriquiment supergènic, amb calcocita (clc) parcialment reemplaçada per malaquita (mal). D) Vetes de malaquita (mal) i goethita (gth) entre el quars de les lidites. Font: Rafel *et al.* (en premsa).



Mineralització primària

Es poden reconèixer dos tipus de mineralització primària. El primer consisteix en fines disseminacions de **pirita** amb textura framboidal disperses a les lidites. Aquests framboides són cossos esferoidals de menys de 25 micres de diàmetre, compostos al seu torn per petites esfèrules de pirita de poques micres de diàmetre (pirita *1*, Fig. 27A]. Sovint s'ha proposat que tenen gènesi bacteriana, cosa que encaixaria amb el fet d'aparèixer en lidites que, originàriament, podrien haver tingut matèria orgànica abundant. En tot cas, aquesta generació de pirita s'hauria format per processos contemporanis amb la sedimentació o amb la diagènesi primerenca.

Allà on és possible d'identificar, la mineralització filoniana primària consta de **pirita**, FeS_2, i **calcopirita**, $FeCuS_2$, amb un estil força similar a l'observat a les properes mines del Barranc Fondo de Cornudella de Montsant. A la mina 'de la Turquesa' els minerals primaris són de gra fi (menys de 1 mm de diàmetre) i consten de pirita idiomorfa, en forma de cubs, i calcopirita al·lotriomorfa, disperses entre quars lletós microcristal·lí [Fig. 27A]. No hem observat cavitats geòdiques a la mineralització. La pirita *2* sovint reemplaça a la pirita *1* [Fig. 27A].

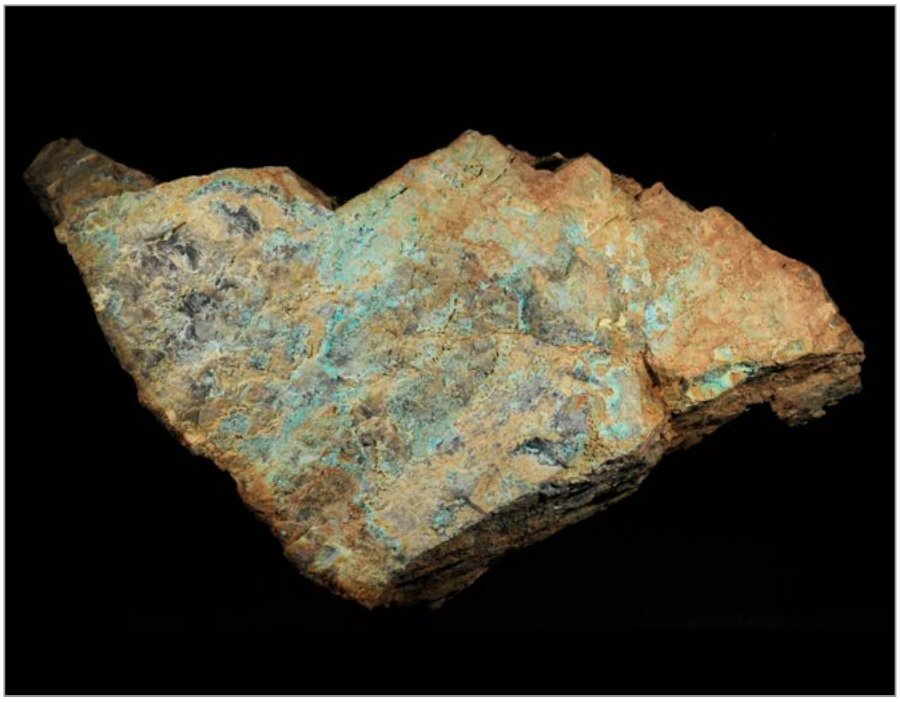


Fig. 28. Mina 'de la Turquesa': mostra amb crandallita de color blau cel a blau verdós clar. Mides: 16,1 x 11,6 x 5,4 cm. Foto: Martí Rafel.

Aquesta generació s'hauria format en associació amb els processos de fracturació alpins.

Mineralització d'enriquiment supergènic

La mineralització d'enriquiment supergènic es forma per reemplaçament de l'anterior per sota del nivell freàtic, i consta de pseudomorfosis dels sulfurs de coure primaris per part de **calcocita**, CuS_2, de color gris i lluïssor metàl·lica en mostra de mà [Fig. 27B i 27C]. El grau de reemplaçament dels sulfurs primaris és molt variable, i en profunditat es va perdent progressivament i finalment desapareix.

Mineralització en *gossan*

La mineralització en forma de *gossan* és la més espectacular del dipòsit. Ja en superfície es veuen afloraments del filó amb una alteració ben desenvolupada, la qual implica el reemplaçament dels sulfurs per paragènesis oxidades. Els minerals normalment formen creixements en forma de crostes de gruix mil·limètric que aprofiten diversos tipus de porositat, però sobretot la produïda per la dissolució dels sulfurs, tot entapissant petites fractures i geodes. D'aquesta manera, arriben a formar-se també, tot i que rarament, textures del tipus *boxwork*. No es distingeixen formes cristal·lines a ull nu; la major part dels minerals són criptocristal·lins, per la qual cosa tenen lluïssor mat en mostra de mà. Els minerals que s'han determinat són: crandallita cuprífera (a la part més superior del dipòsit), goethita, malaquita [Fig. 27 D] i atzurita (aquesta, rara, en contacte amb els sulfurs primaris).

La **crandallita**, $CaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$, és el mineral més comú en la zona superficial del dipòsit. Forma crostes molt poc compactes, de color blavós pàl·lid a blau verdós, amb lluïssor mat, fàcilment esmicolables i encaixades entre les lidites esblanqueïdes [Figs. 28 i 29]. Al microscopi de llum transmesa es veu molt poc cristal·lina, amb colors d'interferència de primer ordre. El color blau anòmal del mineral és degut a la presència de petites quantitats de Cu, possiblement en la posició estructural del Ca.

La **malaquita**, $Cu_2(CO_3)(OH)_2$, és el mineral secundari més abundant a 2-4 metres de profunditat. Forma fines crostes de color verd característic [Fig. 30]. La seva identificació ha estat confirmada a partir de raig X.

La **goethita**, $Fe^{3+}O(OH)$, forma crostes marronoses o pàtines de color groguenc sobre les lidites.

En molt petita quantitat, i en el límit del mètode de la detecció de pols de raig-X, en les crostes de

Fig. 29. Mina 'de la Turquesa': crandallita. C.V. 7 mm. Foto: Martí Rafel.

Fig. 30. Mina 'de la Turquesa': malaquita. C.V. 7 mm. Foto: Martí Rafel.

crandallita s'han determinat petites quantitats d'altres minerals. Així, hi ha minerals del grup de l'alunita, incloent-hi **alunita**, $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$, i **jarosita**, $KFe^{3+}_3(SO_4)_2(OH)_6$. Aquests minerals es troben relacionats amb fragments alterats de pissarres del Carbonífer o del Devonià. Són criptocristal·lins i de color blanc (alunita) o ocre (jarosita). Aquest darrer mineral pot ser fàcilment confós amb la goethita, atès que es forma també per alteració supergènica de pirita i s'associa amb aquest altre mineral.

En molt menor proporció, hi ha altres fosfats en les zones més superiors. Membres de la sèrie **goyazita-gorceixita**, $SrAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$-$BaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$, pertanyents al mateix grup que la crandallita, i **pseudomalaquita**, $Cu_5(PO_4)_2(OH)_4$, un mineral de color verd molt similar al de la malaquita, han estat identificats per difracció de pols de raigs X, així com **corkita**, $PbFe^{3+}_3(SO_4)(PO_4)(OH)_6$, que es pot haver format per alteració de galena. Hi ha, a més, petites quantitats de **fluorapatita**, $Ca_5(PO_4)_3F$.

En una fase analítica diferent, en l'estudi arqueometal·lúrgic, com veurem més endavant, es van determinar a més **covellita** i **libethenita**.

Consideracions generals en relació a l'estructura i la mineralogia

La mineralització de la mina 'de la Turquesa' podria semblar anòmala per la presència de crandallita en quantitats elevades, i pel fet que aquest mineral sigui blau, ja que per la seva composició hauria de ser incolor. Tanmateix, la presència de crandallita blava, amb aparença de turquesa (fosfat hidratat de coure i alumini), no és un fet aïllat en diverses zones d'alteració de mineralitzacions de coure a Catalunya. De fet, s'ha localitzat de forma molt abundant en alguns afloraments adjacents a les mines neolítiques de variscita de Gavà, tot formant vetes de gruix centimètric de color blau pàl·lid. En aquest cas, es va formar per alteració supergènica simultània de pirita, calcopirita i apatita disperses a les pissarres del Silurià (Camprubí *et al.,* 1994 i 2003; Costa *et al.,* 1994).

En el cas de la mina de Cornudella de Montsant, es dona una situació semblant. Les pissarres i lidites del Devonià i les lidites del Carbonífer tenen nivellets d'apatita, a la vegada que disseminacions de pirita framboidal de gra molt fi i, per tant, químicament molt reactiva. A més, també hi ha abundant pirita entre les menes primàries de la mineralització filoniana. Per tant, durant els processos de meteorització es formen fluids àcids a partir de l'oxidació de la pirita. Aquesta oxidació, a més de formar goethita, pot determinar la formació de fluids descendents molt oxidants i àcids. Aquests fluids tenen una alta capacitat per reaccionar amb els minerals que troben al seu pas, com ara els fil·losilicats de les pissarres, l'apatita de les pissarres i lidites i els sulfurs. Per tant, es pot incorporar anió fosfat a les solucions, a més de l'anió sulfat. Això determina que es puguin formar fosfats a les zones de meteorització a causa de la disponibilitat de fòsfor. Per altra banda, l'alumini és un element altament immòbil en la major part de medis. Atès que els fluids interactuen amb pissarres, riques en miques, i per tant en alumini, no és estrany que es formin sulfats i fosfats amb alumini a les parts més altes del dipòsit. Això explicaria la formació de minerals del grup de l'alunita i de crandallita en les zones més superficials; per altra part, la presència de corkita o minerals de la sèrie goyazita-gorceixita es pot explicar pel mateix fenomen. El coure en aquest procés sembla que pot quedar fixat en una estructura, la de la crandallita, que conté diverses posicions aptes per a retenir cations de radis iònics diversos. La presència de corkita es podria explicar pel mateix mecanisme.

L'existència de malaquita, especialment si es té en compte que la mineralització de coure encaixa en quars i no pas en carbonats, mereix consideracions a part. La font del carboni ha de ser atmosfèrica. El fet que no es formin sulfats com brochantita o antlerita pot ser degut a que l'anió sulfat no sigui tan abundant, perquè la quantitat de pirita a la mena original no és gaire elevada, o al fet que la major part del sulfat queda fixat en forma d'alunita o jarosita als nivells més superiors.

En realitat, la proporció de coure present a la crandallita és baixa i la seva explotació, especialment en temps prehistòrics, sembla complicada, tot i que no es disposa de dades sobre el seu aprofitament. Possiblement l'explotació prehistòrica anà encarada més aviat cap a la malaquita, la qual incrementa la seva proporció a pocs metres de profunditat. Això explicaria el desenvolupament de pous relativament profunds i no pas de trinxeres superficials seguint l'aflorament del filó en el crestat.

La mineralització apareix molt fracturada per efecte de l'activitat continuada de les falles i la seva meteorització en els nivells superiors ha afavorit el desenvolupament d'una roca encara més esmicolable. Per tant, la seva explotació no és complicada amb les eines de què es disposava durant la prehistòria. En canvi, l'explotació sembla interrompre's quan s'arriba als nivells més fondos en què comencen a aparèixer els sulfurs primaris, cosa que suggereix que aquests minerals oferien complicacions tècniques als metal·lúrgics primitius.

En síntesi, doncs, la mina 'de la Turquesa' es va obrir per a explotar menes secundàries de coure. Aquestes menes es disposen a les parts superiors d'una zona filoniana amb pirita i calcopirita primàries, que per alteració meteòrica dóna un *gossan* amb crandallita i malaquita, acompanyats de minerals del grup de l'alunita, i una zona d'enriquiment supergènic amb calcocita. La paragènesi indicada té el seu origen remot en la meteorització simultània de pirita i apatita de les roques de caixa, per una banda, i de la calcopirita del filó, per l'altra.

Les excavacions arqueològiques a la mina

Durant una prospecció geominera que vam realitzar el 2011 en el marc del projecte *Procesos sociales, tecnológicos y económicos en la explotación de recursos minerales del Priorat (Cataluña): una visión diacrónica* (que finançà el Ministerio de Economía y Competitividad) visitàrem la mina amb l'objectiu de recollir mostres per a la realització d'anàlisis de composició i d'isòtops de plom. Durant aquesta prospecció trobàrem un fragment d'un pic de miner de pedra, sens dubte prehistòric per la seva tipologia, cosa que ens induí a endegar un projecte d'excavació i estudi de la mina. Els treballs d'excavació es portaren a terme en tres campanyes els anys 2012, 2013 i 2015. Durant la primera campanya d'excavació es varen obrir cinc talls per tal de tenir una visió general de l'estructura de l'explotació. El rebliment de gran part dels talls presentava nivells amb materials barrejats tant d'època prehistòrica (instrumental miner) com d'època contemporània, fet usual en moltes excavacions arqueològiques en mines perquè, a diferència del que succeïa en la construcció antiga, en l'activitat minera cada nova explotació malmet en major o menor mesura les anteriors. És habitual, a més, el rebliment de treballs d'extracció amb materials provinents d'abocadors d'activitats extractives anteriors (Timberlake, 2003; Hunt Ortiz, 2005; Bouquet *et al.*, 2006; Ambert *et al.*, 2009).

No obstant, aquesta primera campanya del 2012 va permetre situar bé el filó principal, caient en vertical o en pendent acusat (uns 45°), i l'emplaçament d'un gran pou d'extracció contemporani que havia estat tapat els anys 60-70 del segle XX i, el que és més important, va fer possible constatar la presència d'eines prehistòriques de miner entre el material contemporani, cosa que corroborava l'explotació prehistòrica de la mina. Amb la guia que proporcionaren els talls realitzats el 2012, l'any següent es pogueren escometre els treballs per obrir el gran pou contemporani amb l'ajuda de mitjans mecànics i, ja en la següent campanya, la del 2015, es procedí a la delimitació en planta de tot el pou (morfologia el·lipsoidal irregular, aprox.13 x 9 metres) i al seu buidat fins a la profunditat de 6 metres. A més, es recuperà un lot significatiu de pics i altres eines, que, amb els localitzats en les campanyes anteriors, sumen 117 eines macrolítiques relacionades amb activitats prehistòriques de caràcter extractiu. I, finalment, els treballs d'aquesta darrera campanya permeteren documentar tres labors extractives (L1, L2 i L3) realitzades amb tecnologia preindustrial [Figs. 31 i 32].

L'explotació L1 [Figs. 33 i 34] és un pou que segueix la mateixa orientació que el filó principal i està emplaçat immediatament a l'oest d'aquest, molt probablement per tal d'explotar un filó lateral. En sec-

Fig. 31. Vista aèria general de la mina 'de la Turquesa'. Es pot apreciar com el filó discorre crestat per enfonsar-se després quasi verticalment. S'aprecia també la labor a cel obert contemporània i s'indica el pou preindustrial L1. Foto: Projecte Turquesa.

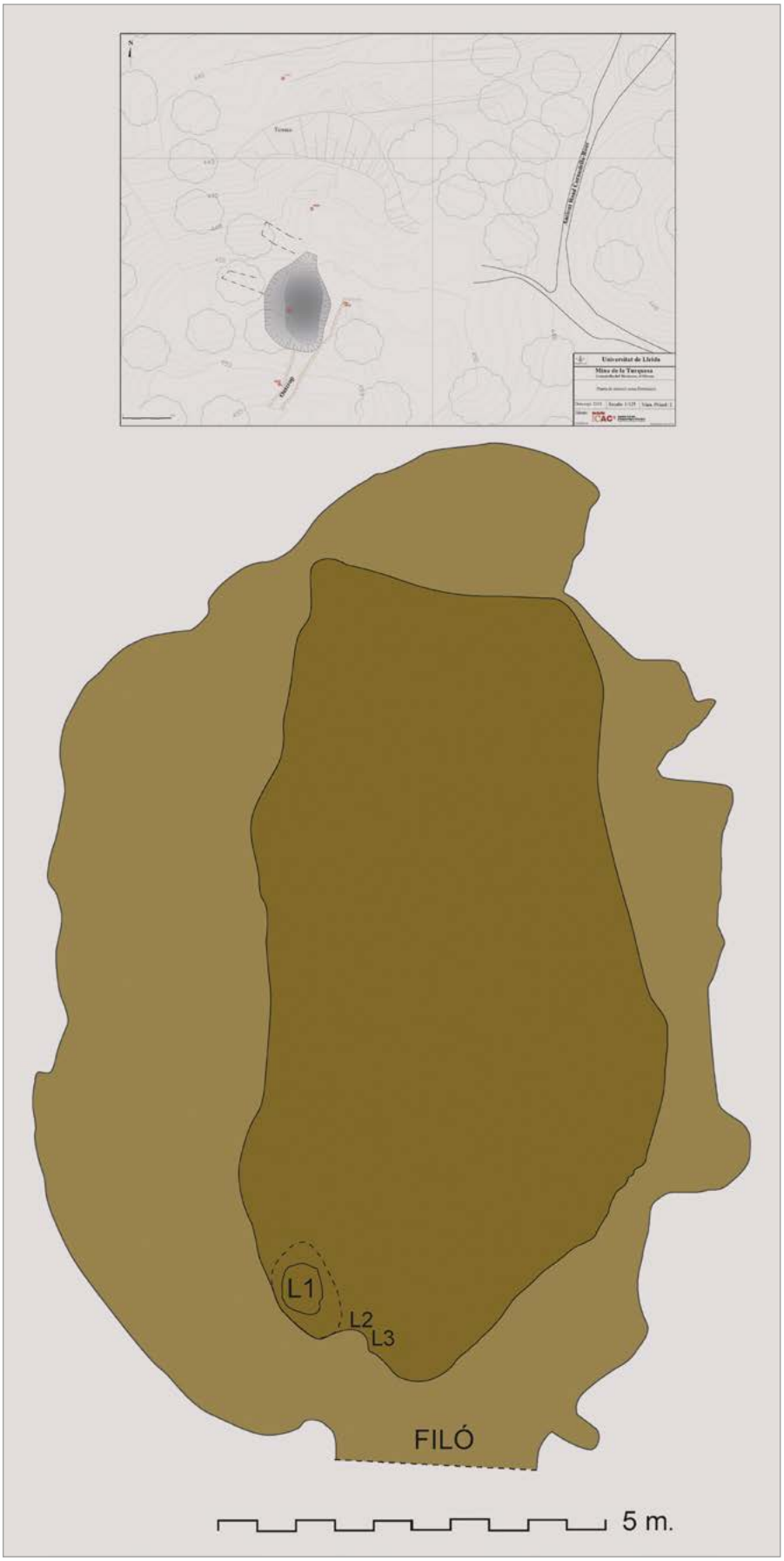


Fig. 32. Topografia de l'àrea estudiada i planta de la labor contemporània, amb indicació de les labors preindustrials L1, L2 i L3. Font: Projecte Turquesa.

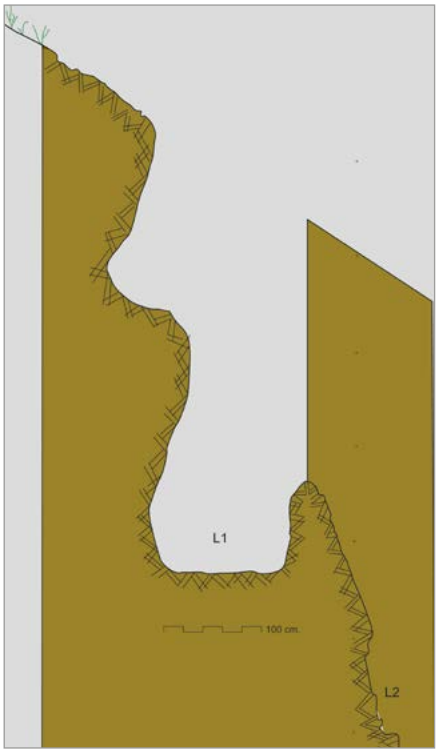


Fig. 33. Secció reconstructiva del pou L1. Font: Projecte Turquesa.

ció presenta una de les parets laterals destruïda a causa dels treballs d'excavació del pou contemporani. Té una lleugera tendència bicònica, sent la boca la part més ample. La part basal, inferior, es conserva sencera i amida 1,20 x 0,80 metres i té una profunditat total de 4,73 metres. Va ser excavat íntegrament amb instrumental no metàl·lic. En cadascuna de les tres parets conservades hi ha una fenedura o rebaix, que estan oposats entre sí, de manera que podien servir com a punts de recolzament de peus i mans en les maniobres d'entrada i sortida. A la paret oest i a uns 30 cm de la base hi ha un rebaix més gran que podria haver estat utilitzat com a lleixa. L'excavació del sediment de l'interior proporcionà restes de mineral de coure abundants, microcarbons, molta pedra petita i un fragment d'una eina minera de pedra.

A un nivell més profund es localitzaren les restes d'explotació que anomenàrem L2 i L3 [Fig. 35]. Ambdues tenen una morfologia molt similar, arrodonida, i presenten unes superfícies que es diferen-

Fig. 34. Vista de detall del pou L1. Foto: Projecte Turquesa.

Fig. 35. Vista de les labors L1, L2 i L3. Foto: Projecte Turquesa.

cien clarament de les parets anguloses resultants tant de l'explotació moderna com de la pròpia exfoliació de la roca encaixant. L'examen visual ens suggerí que podia tractar-se de restes de l'aplicació de la tècnica anomenada *fire-setting* per tal d'extraure el mineral, cosa que, com veurem més endavant, ha confirmat l'estudi de termoluminescència.

Termoluminescència (TL)

Com ja hem comentat més amunt, el *fire-setting* és una de les tècniques més antigues utilitzades per fer esclatar roques dures en les tasques d'explotació minera. Els atacs amb aquest mètode acostumen a deixar marques en la roca d'una morfologia molt particular, identificables, a tall d'hipòtesi, a ull nu. Les restes d'explotació L2 i L3 de la mina 'de la Turquesa' semblen indicar l'aplicació d'aquesta tècnica i és per aquest motiu que es portà a terme un estudi mitjançant termoluminescència, una tècnica que permet identificar l'aplicació de calor, així com el temps transcorregut des de la darrera aplicació de calor o d'exposició al sol (Ancel i Py, 2008; Py i Ancel, 2006; Weisgerber i Willies, 2000; Aitken, 1999).

L'objectiu de l'estudi ha estat identificar aquestes possibles evidències de *fire-setting* en els grans de quars extrets dels materials mostrejats de L1, L2 i L3 utilitzant protocols TL, que s'han complementat amb anàlisis de difracció de raigs X (XRD). La metodologia s'ha basat en el treball de Castaing *et al*. (2005), tot i que aplicant un protocol una mica més complex a grans de quars en lloc d'un protocol TL simple aplicat a mostres poliminerals. Normalment, les mesures de TL aplicades al quars permeten la distinció entre mostres no escalfades i mostres escalfades a temperatures superiors a 300 °C, que presenten una menor intensitat del senyal TL. Aquests estudis s'han de complementar amb la caracterització mineralògica mitjançant la difracció de raigs X, que permet obtenir l'associació mineralògica, amb especial èmfasi en la proporció de quars. A més, l'anàlisi XRD permet la identificació de fases mineralògiques indicatives de les temperatures de cocció aconseguides. Es van prendre diferents mostres, seguint el protocol usual en les datacions per luminescència (Rodrigues dos Santos, 2015) tant de les extraccions L1, L2 i L3 com d'altres indrets de l'explotació, aquests darrers com a forma d'obtenir mostres de contrast [Fig. 36]. Es van utilitzar les mesures TL per detectar l'escalfament eventual de grans de quars gruixuts extrets de fragments de roques i sediments partint dels supòsits següents: (i) en absència de calefacció, els senyals forts obtinguts corresponen als senyals geològics; (ii) les intensitats del senyal es redueixen substancialment en els materials escalfats a temperatures superiors a 300 °C.

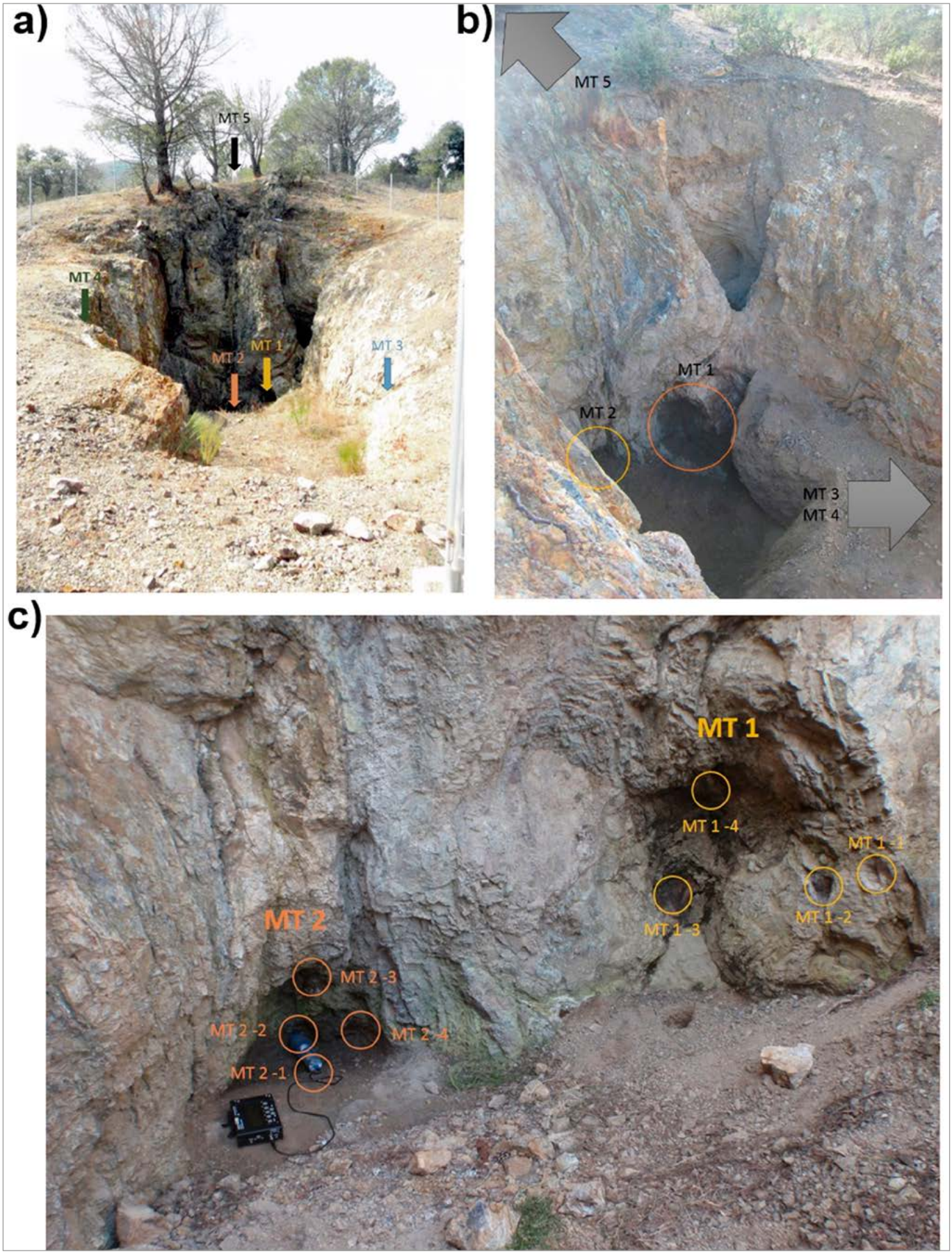


Fig. 36. Mostreig per termoluminescència: a) visió global amb els punts de mostreig MT2, MT3, MT4 i MT5; b) interior de les explotacions; c) detall de les labors L2 i L3 amb la localització del mostreig. Font: Rafel *et al*. (en premsa).

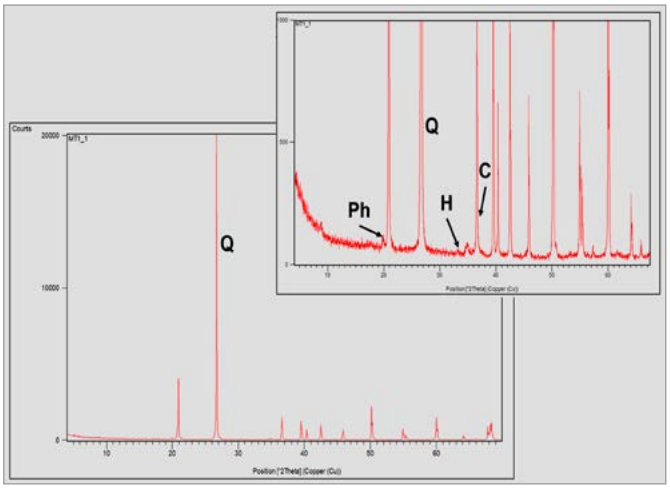


Fig. 37. Composició mineralògica del fragment de roca MT1_1 del pou MT1, obtinguda amb XRD: Ph) fil·losilicats; Q) quars; H) hematites; C) cuprita.
Font: Rafel *et al*. (en premsa).

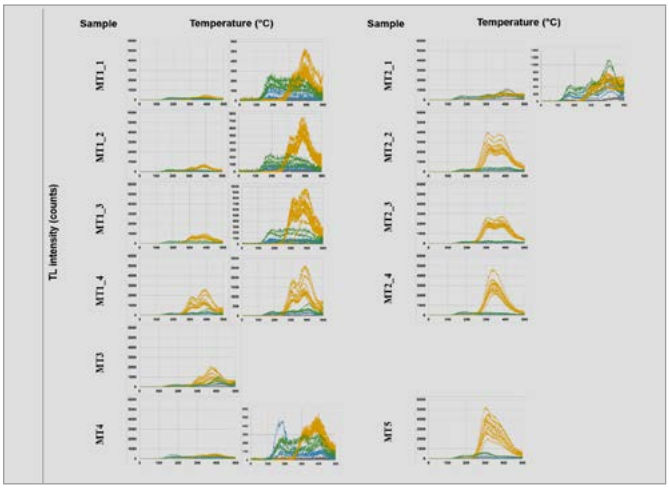


Fig. 38. Seqüència dels amidaments TL. Amidaments fets amb filtres de detecció BG25 + HA30 en lector Risø DA-20. Irradiació amb una font beta amb una dosi de 0,104 Gy/s.
Font: Rafel *et al*. (en premsa).

Els resultats de les anàlisis XRD revelen que el quars és el principal mineral en totes les mostres. S'associa amb proporcions menors de fil·losilicats i traces d'hematites i cuprita [Fig. 37]. La mostra MT2_1 té una major proporció de fil·losilicats (com s'esperava) i traces d'atzurita. La mostra MT5 també té residus d'atzurita. Els resultats XRD confirmen que les proporcions de quars en mostres són compatibles amb els mesuraments TL. No es van observar fases minerals resultants de la temperatura elevada, no obstant això, no es pot excloure l'ús del foc, especialment perquè, d'una banda, aquesta incidència pot estar relacionada amb intervals de temperatures baixes, no detectades en les associacions mineralògiques observades i, d'altra banda, perquè es pogué produir un escalfament anisòtrop de la roca (temperatures molt altes a la superfície escalfada i una ràpida reducció de la calor a l'interior de la roca), així com l'eliminació del material escalfat durant el procés miner. Un altre aspecte a tenir en compte és que el foc acostuma a debilitar fàcilment les roques riques en quars, fins i tot amb temperatures per sota de 600 °C (Weisgerber i Willies, 2000). En aquestes condicions, els canvis produïts en el quars són reversibles i, per tant, els patrons XRD no reflecteixen els processos de calefacció a baixa temperatura.

Fig. 39. Labor L2. Foto: Projecte Turquesa.

Pel que fa a les mesures de luminescència, es va obtenir una fracció de grans gruixuts de quars enriquits (EQZCG, *enriched quartz coarse grains*) mitjançant una disgregació manual realitzada amb un morter d'àgata. En les mostres (MT1) preses a la labor L2, els senyals TLn de l'EQZCG [Fig. 38, en groc] tenen una intensitat més alta que els TLr (en gris, blau i verd). No obstant això, les diferències d'intensitat, entre senyals naturals i regeneradors, en particular el senyal de TLr800 (verd), disminueixen de la mostra MT1_4 a la mostra MT1_1, a causa d'una disminució de la intensitat de senyals TLn. La menor intensitat de senyals TLnde MT1_2 i, encara amb més claredat, en el cas de MT1_1, apunta a una eliminació parcial del senyal natural geològic, potser com a conseqüència d'un esdeveniment de calefacció. Com que les mostres MT1 (1 i 2) recollides lleugerament lluny del centre de la labor no són les més enriquides en coure, podem suposar que corresponen a les restes mineres de la labor L2 sotmeses a *fire-setting*. Hem de tenir en compte que és plausible pensar que en l'actualitat només es conserven ocurrències del material sotmès a temperatures més altes de forma residual, a causa de les activitats mineres prehistòriques.

Comparant els senyals TLn de l'EQZCG a partir de fragments de roca recollits a la labor L3 (mostres MT2) amb els respectius TLr, observem que els senyals TLn són més intensos que els senyals TLr, el que indica que el quars analitzat conserva la major part del senyal geològic no modificat. L'EQZCG extret del sediment MT2_1, té la intensitat de senyal TLn més baixa . El senyal geològic va ser blanquejat per la llum i/o l'exposició a la calor, com a conseqüència de la suma de diversos processos: geològics, geomorfològics i antropògens, que es van produir des de la formació de roques fins a la deposició de sediments. Després de l'eliminació de tot el senyal geològic, la intensitat

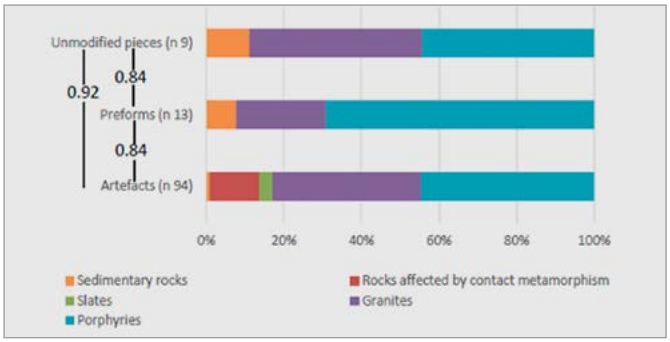


Fig. 40. Freqüències absolutes del conjunt d'ítems recuperats a la mina 'de la Turquesa' i vinculats a la producció d'eines mineres. També s'indiquen els índex de correlació /r2) entre els tres grups. Font: Rafel *et al*. (en premsa).

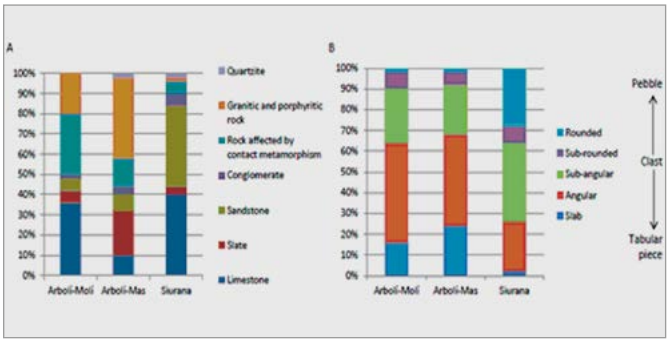


Fig. 41. Freqüències, en percentatges, de les litologies (A) i el grau d'angulositat (B) dels recomptes realitzats als dipòsits dels rius Siurana i Arbolí. Font: Rafel *et al*. (en premsa).

que podem mesurar per les tècniques de luminescència del senyal natural en el sediment és proporcional al temps des que es va acumular aquest sediment a MT2 (L3) i pot correspondre al final de les últimes activitats mineres. L'EQZCG extret de les mostres MT3 i MT4 té un senyal TLn més intens que TLr, tot i que era menys intens del que s'esperava, apuntant a una pèrdua parcial del senyal geològic. La disminució del senyal de TL, per pèrdua d'aportació geològica pot ser causada per activitats recents de mineria. La mostra MT5 té la major intensitat del senyal TLn, cosa que reflecteix la preservació del senyal geològic i el fet que no hi ha evidències d'activitats mineres.

En definitiva, doncs, l'estudi TL revela algunes evidències compatibles amb l'aplicació de *fire-setting* a la mina 'de la Turquesa' en època prehistòrica preindustrial. L'estudi demostra la capacitat de la termoluminescència per identificar l'ús del foc en contextos d'explotació minera i avaluar les datacions absolutes de les mostres. Els resultats obtinguts a partir de mesures de TL han permès deduir que les mostres recollides a L2 [Fig. 39] probablement varen estar sotmeses al foc.

L'instrumental lític de miner

La mina 'de la Turquesa' és un dels poquíssims jaciments prehistòrics catalans que han proporcionat dades sobre l'utillatge lític utilitzat en l'explotació de minerals metàl·lics. Tot just fa poc temps que, en el marc del mateix projecte d'investigació, estudiàrem el conjunt lític de la propera mina del bronze antic-mitjà (2.300-1.300 aC) de la Solana del Bepo, Ulldemolins (Rafel *et al.*, 2016; Delgado-Raack i Gómez-Gras, 2017). La condició singular d'ambdues mines, la proximitat i un context geomorfològic coincident afavoreixen el poder comparar la tecnologia dels dos conjunts.

De les 117 peces lítiques recuperades en el curs de les diferents campanyes d'excavació a la mina 'de la Turquesa', 76 són pics, 11 percussors, 7 pics-percussors, 13 preformes, 9 suports susceptibles de ser utilitzats per a la producció de peces i 1 petit nòdul clivellat.

Matèries primeres

El litotipus més explotat el constitueixen les roques porfíriques i granítiques [Fig. 40]. En segon lloc apareixen les roques més o menys afectades per metamorfisme de contacte o retrogradades. Els gresos i pissarres –que són molt abundants a la zona, però que usualment no estan afectats per metamorfisme de contacte– representen una minoria. Cal recordar que els processos de cornificació de les roques afavoreix la seva cohesió i duresa en relació a la resistència mecànica del material durant el seu ús, mentre que l'absència d'aquesta les converteix en roques poc resistents (Risch i Martínez, 2008; Delgado-Raack i Gómez-Gras, 2017).

La majoria de peces parteixen de clastos, és a dir, suports poc rodats, que presenten angles lleugerament arrodonits. Dels 94 artefactes que s'han pogut identificar entre el total de 117 elements macrolítics documentats, el 81,92% es realitzaren a partir de clastos, mentre que el 12,77% ho foren a partir de còdols; el 5,31% restant no permeteren la identificació, ja sia per alteració o per modificació antròpica de les peces. Sens dubte, el o els punts de recollida de les matèries primeres hagueren d'estar relativament a prop dels afloraments primaris corresponents. En l'entorn del jaciment hi ha afloraments carbonífers de diverses litologies (pissarres, gresos i materials afectats per metamorfisme de contacte, pòrfirs àcids, granits alcalins i granodiorites). La conca del Siurana, en la qual s'ubica el jaciment, rep les aigües del Montsant i l'Arbolí i tots dos transporten moltes matèries primeres provinents de les serres veïnes [Fig. 40]. És probable, doncs, que les matèries primeres utilitzades per a l'instrumental miner documentat a la mina 'de la Turquesa' siguin d'origen local.

Per tal de comprovar-ho es plantejaren diversos recomptes per a caracteritzar litològicament i morfològicament els dipòsits secundaris més propers al jaciment (Cailleux, 1951). Les freqüències litològiques d'aquests recomptes han posat de manifest una presència important al riu Arbolí [Fig. 41 A] de roques granítiques (granits i pòrfirs) i roques més o menys afec-

Fig. 42. A) Vista des del fons de la vall cap al Mas de les Moreres i el promontori on s'ubica la mina; B) vista de les terrasses amb bancals amb clastos i pedres dels dipòsits de l'Arbolí; C) un dels dos indrets de comptatge a l'Arbolí; D) indret de comptatge al Siurana; F i G) clastos de pòrfir trobats a l'Arbolí i que presenten morfologia similar a pics de la mina 'de la Turquesa'. Font: Rafel *et al*. (en premsa).

tades per metamorfisme de contacte (pissarres, gresos). Les calcàries hi estan també ben representades, però no foren utilitzades com a matèria primera [Fig. 40]. Els dipòsits del riu Siurana presenten calcàries i gresos –que abunden en els afloraments tant del tram superior (gresos i calcàries de fàcies Muschelkalk) com de l'inferior del curs del riu (gresos paleozoics)– com a litotipus predominants. Les roques granítiques i les que estan afectades per metamorfisme de contacte hi són també presents, si bé de forma residual.

L'índex de correlació més elevat és el que hi ha entre els materials de la mina 'de la Turquesa' i el punt de recompte Arbolí-Mas (índex de correlació 0,885), que, d'altra banda, és el més proper a la mina. Per altra part, l'alt percentatge de suports angulosos [Fig. 41 B] indica que els seus dipòsits es troben prop dels afloraments primaris. Per contra, al riu Siurana es formen dipòsits més madurs des del punt de vista geomorfològic. En conseqüència, també en aquest sentit la conca de l'Arbolí és més afí al patró que hem observat al jaciment 'de la Turquesa'. De fet, els materials lítics que s'observen encara avui, molts d'ells reaprofitats en murs de bancals, indiquen la riquesa qualitativa i quantitativa dels mateixos. El fet que l'instrumental lític de la mina presenti en general un baix grau de transformació permet veure la morfologia original dels suports, de manera que podem concloure que les formes existents originàriament als dipòsits fluvials de l'Arbolí determinaren la variabilitat morfològica dels artefactes utilitzats en l'explotació minera prehistòrica [Fig. 42 E i F].

Així doncs, l'origen de les matèries primeres explotades per a la producció d'eines lítiques de miner és local. Prové de la mateixa vall del Mas de les Moreres, de les formacions de l'altra banda de l'Arbolí. S'utilitzaren prioritàriament roques granítiques i porfíriques, sent aquestes darreres lleugerament més abundants. Els pòrfirs es limiten al sud de la vall, més enllà del riu i la carretera C-242, prop del pic de lo Molló, on s'observa un dic porfíric àcid. A la mina de la Solana del Bepo, prop de dics de pòrfirs granodiorítics, també es documentà un ús preferent d'aquest tipus de roca. La resta de roques de la mina 'de la Turquesa', és a dir, les granodiorites i els granits alcalins i les roques retrògrades, apareixen en l'entorn del dic porfíric, en cotes més properes al riu Arbolí. S'estenen més enllà de la vall en direcció sud-est, on són més abundants.

Per tal de manufacturar les eines es seleccionaren suports suficientment rodats per oferir resistència als impactes (Risch, 1995; Schneider, 2002). Pel fet que, com veurem tot seguit, les eines presenten en general un nivell baix de transformació, podem observar que molts d'aquests còdols conservaven, però, una certa angulositat en les vores, que sovint s'aprofitaven com a front de treball.

Fig. 43. Esquema simplificat dels cinc tipus morfològics d'eines documentades en el conjunt de la mina 'de la Turquesa' i freqüència relativa de superfícies actives presents en cadascun d'ells. Font: Rafel *et al*. (en premsa).

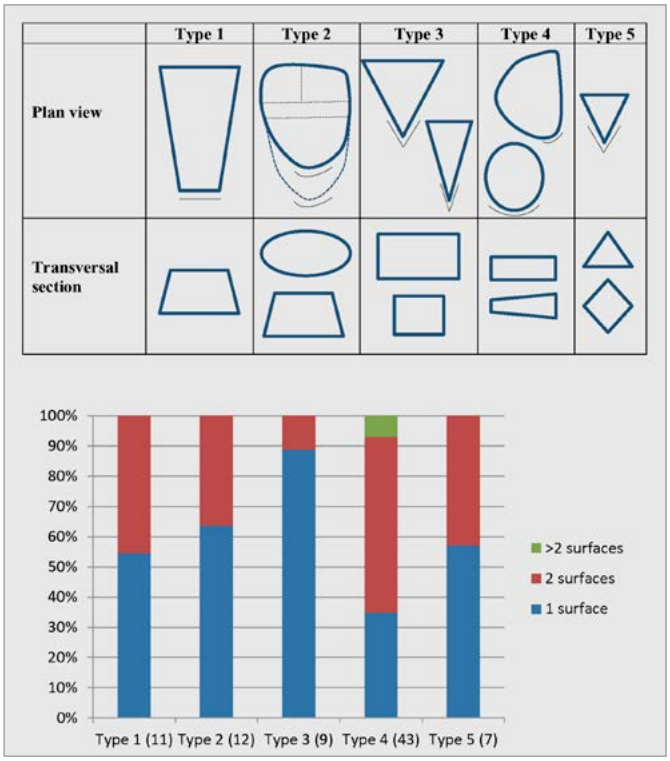


Fig. 44. Eines tipus 1. Esquerra: pic de granodiorita (MT-26), 220 x 140 x 86 mm, 3.322 g; dreta: pic de granodiorita (MT-66), 375 x 130 x 118 mm, 8.700 g. Fotos: Projecte Turquesa.

Fig. 45. Eines tipus 2. Esquerra: pic de pòrfir (MT-24), 239 x 139 x 112 mm, 4.663 g; dreta: percussor de granodiorita (MT-54), 163 x 139 x 105 mm, 2.960 g. Fotos: Projecte Turquesa.

Fig. 46. Eines tipus 3. Esquerra: pic de granodiorita (MT-16), 247 x 86 x 72 mm, 1.644 g; dreta: percussor de pòrfir (MT-67), 144 x 144 x 81 mm, 2.604 g. Fotos: Projecte Turquesa.

Procés d'elaboració

El conjunt d'instrumental lític documentat a la mina està en bon estat de conservació, el 82,1% dels ítems es conserva íntegrament, especialment pics, percussors i pics-percussors. Molts d'ells, però, estan fracturats i reutilitzats.

En general, els útils tenen una factura tosca i una modificació del suport molt limitada. L'índex de transformació per als pics i percussors és molt baix (0,2), sobretot si el comparem amb el de la propera mina de la Solana del Bepo, on es documenten índexs entre 0,6 i 0,8 (Delgado-Raack i Gómez-Gras, 2017). Molts cops els fronts actius aprofiten angulositats o protuberàncies naturals del clast de provinença, mentre que en una minoria de casos el front es conforma mitjançant cops de talla simple. D'altra banda, només un 15,29% de les eines conservades en la seva integritat tenen ranures o osques per a poder-les emmanegar.

Des del punt de vista morfològic, hem pogut determinar cinc tipus d'eines [Fig. 43]:

- El tipus 1 (13 peces) inclou artefactes de roques granítiques (granits i pòrfirs) i de morfologia trapezoidal amb un extrem inferior més estret on acostuma a situar-se el front actiu o de treball. La majoria dels artefactes més grans corresponen a aquest tipus. No presenten ranures ni osques per emmanegar, tot i que, malgrat això, no podem descartar

Fig. 47. Eines tipus 4. Esquerra: pic de roca afectada per metamorfisme de contacte (MT-30), 188 x 132 x 80 mm, 2.409 g; dreta: pic de granodiorita (MT-77), 132 x 84 x 58 mm, 732 g. Fotos: Projecte Turquesa.

Fig. 48. Eines tipus 5. Esquerra: pic de granodiorita (MT-93), 95 x 82 x 66 mm, 492 g; dreta: percussor de granodiorita (MT-46), 108 x 100 x 87 mm, 1.172 g. Fotos: Projecte Turquesa.

que se'ls dotés d'un mànec [Fig. 44].

- El tipus 2 (15 peces) correspon als exemplars que presenten dispositius per a l'emmanegament, ja siguin aquests ranures o bé osques [Fig. 45]. La majoria d'artefactes són granítics, tot i que també n'hi ha alguns de roques retrògrades. Originalment eren peces de grans dimensions. És el tipus que presenta un grau més alt de transformació; de fet, l'índex general de transformació del jaciment es concentra quasi exclusivament en aquest tipus, que, d'altra banda, correspon al que majoritàriament vàrem documentar a la Solana del Bepo (Delgado-Raack i Gómez-Gras, 2017).
- El tipus 3 (9 peces), de roques granítiques i pissarres, té planta triangular i secció quadrangular [Fig. 46]. Això el converteix en un estri de proporcions més massives que la resta.
- El tipus 4 forma el grup més nombrós (48 peces) i agrupa exemplars de planta semicircular o bé, amb menys freqüència, circular, tots ells de secció aplanada [Fig. 47]. En la seva major part són de roques granítiques o retrògrades. Diferents evidències ens porten a suposar que els estris d'aquest tipus tampoc s'emmanegaven.
- Finalment, el tipus 5 (9 peces) el constitueixen estris de planta triangular, generalment petits, que probablement són els extrems punxeguts de pics que es van fracturar i dels quals es varen reaprofitar els fragments [Fig. 48]. Òbviament no s'emmanegaven i possiblement foren utilitzats en el procés d'extracció del mineral com a falques.

Consideracions finals

En síntesi, doncs, tenim una sèrie de pics i percussors que constituïren una eina essencial de l'explotació de les vetes de coure de la mina 'de la Turquesa'. Els primers s'utilitzaren per a l'extracció directa, mentre que els segons s'empraven per triturar el mineral un cop extret de la veta amb la finalitat de separar al màxim possible el mineral de la roca encaixant.

Crida l'atenció la gran diferència del conjunt instrumental d'aquest jaciment en relació amb el documentat a la mina de la Solana del Bepo, on hi ha un conjunt lític amb un grau molt més alt de transformació, que dóna com a resultat la producció d'eines més sofisticades. En suma, la producció lítica de la mina 'de la Turquesa' és substancialment més rudimentària que la de la Solana del Bepo.

Tanmateix, a la mina 'de la Turquesa' es documenten alguns estris més elaborats i complexos que la resta, comparables als de la Solana del Bepo. La coexistència d'estris poc i molt elaborats en una mateixa mina té paral·lels en altres explotacions de coure prehistòriques europees (vegeu, per exemple, a Stöllner *et al*., 2004). Tornarem a referir-nos a aquesta qüestió en tractar de la cronologia de la mina.

L'estudi arqueometal·lúrgic

El mineral de la mina 'de la Turquesa' s'ha centrat en tres tipus de caracterització. Amb l'objectiu d'identificar el tipus de metall que s'obtingué s'han portat a terme anàlisis elementals amb un equip portàtil d'espectrometria de fluorescència de raigs X (pXRF). Algunes de les mostres s'identificaren per difracció de raigs X. I, finalment, es realitzà una caracterització mitjançant isòtops de plom per tal de definir el camp isotòpic de la mina i poder realitzar estudis comparatius amb els materials arqueològics, de tal manera que poguéssim identificar objectes prehistòrics manufacturats a par-

Fig. 49. Anàlisis elementals pXRF de mineral de coure de la mina 'de la Turquesa' (pes en %). Font: Rafel *et al*. (en premsa).

Anàlisi	Dipòsit	Referència	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	LE	Ràtio As/Cu (%)
PA20591	Cu dip.		0,7	n.d.	99	n.d.	0,27	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	0,3
PA20592	Blau Cu dip.		14	n.d.	18,3	n.d.	0,79	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	66,9	4,3
PA20593	Blau Cu dip.		6,72	0,1	85,9	n.d.	7,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	8,5
PA20594	Verd Cu dip.		0,43	n.d.	17,9	n.d.	0,04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	81,6	0,2
PA20595	Verd Cu dip.		1,02	n.d.	23,7	n.d.	0,04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	75,2	0,2
PA20596	Blau Cu dip.		7,44	n.d.	15,6	n.d.	1,71	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	75,2	11,0
PA20597	Blau Cu dip.		7,1	n.d.	90,5	n.d.	2,37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	2,6
PA24869	Cu dip.	MT L1 ue 27	1,99	0,02	25,4	n.d.	0,32	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	72,2	1,3
PA24872A	Calcopirita	MT2015 QF	22,3	0,06	15	n.d.	2,09	n.d.	n.d.	n.d.	0,01	n.d.	60,1	13,9
PA24872B	Calcopirita	MT2015 QF	28,3	0,04	24,2	n.d.	1,61	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	44,8	6,7
PA22860A	Cu dip.	Mostra 1	1,8	n.d.	2,9	n.d.	0,08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	95,2	2,8
PA22860B	Cu dip.	Mostra 1	1,98	n.d.	2,09	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	95,9	2,9
PA22861	Blau Cu dip.	Mostra 2	6,3	n.d.	24,5	n.d.	0,55	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	68,6	2,2
PA22862	Cu dip.	Mostra 3	0,92	0,09	97,5	n.d.	1,44	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	1,5
PA22863	Cu dip.	Mostra 4	0,89	0,02	6,81	n.d.	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	92,3	0,1
PA22864	Cu dip.	Mostra 5	0,95	0,03	13,3	n.d.	0,08	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	85,7	0,6
PA22865A	Cu dip.	Mostra 6	0,43	n.d.	10,9	n.d.	0,01	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	88,7	0,1
PA22865B	Cu dip.	Mostra 6	1,58	n.d.	15,6	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	82,8	0,4
PA22866	Cu dip.	Mostra 7	3,81	n.d.	5,22	n.d.	0,19	n.d.	n.d.	n.d.	tr	n.d.	90,7	3,6
PA22867	Cu dip.	Mostra 8	0,74	0,02	6,47	n.d.	1	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	91,7	15,5
PA22867	Cu dip.	Mostra 8	1,52	n.d.	31,5	n.d.	0,15	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	66,8	0,5
PA22868	Cu dip.	Mostra 9	1,44	n.d.	29,1	n.d.	0,14	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	69,3	0,5
PA22869A	Cu dip.	Mostra 10	0,49	n.d.	7,81	n.d.	0,06	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	91,6	0,8
PA22869B	Cu dip.	Mostra 10	0,87	n.d.	3,83	n.d.	0,04	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	95,2	1,0
PA22870	Turquesa?	Mostra 11	0,38	n.d.	10,3	n.d.	0,13	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	89,1	1,3

PA24869 Mina 'de la Turquesa' MT 2015/L1/UE27	Fase 1: quars baix	61,45 (30) %
	Fase 2: malaquita	32,90 (28) %
	Fase 3: libethenita	5,65 (24) %
PA24872 Mina 'de la Turquesa' MT 2015/QF/1	Fase 1: quars baix	29,87 (23) %
	Fase 2: calcopirita	42,61 (29) %
	Fase 3: goethita	21,70 (40) %
	Fase 4: covellita	0,79 (43) %

Fig. 50. Anàlisis XRD de minerals de la mina 'de la Turquesa'. Font: Rafel *et al*. (en premsa).

Mostra	206/204	207/204	208/204	207/206	208/206
PA20591	18,5229	15,6841	38,6786	0,84674	2,08815
PA20593	19,3070	15,7136	38,8001	0,81388	2,00964
PA20595	18,5463	15,6956	38,6571	0,84629	2,08436
PA20593B	19,2025	15,7117	38,7135	0,81821	2,01606
PA22862	20,5794	15,7967	38,7936	0,76760	1,88507
PA22865	18,8458	15,6953	38,5223	0,83283	2,04408
PA22867	20,4312	15,7769	38,8176	0,77219	1,89991
PA22870	20,3453	15,7887	38,8408	0,77603	1,90908
T-A-9-1	20,9450	15,8088	38,8424	0,75478	1,85449
T-A-9-2	20,4099	15,7796	38,8587	0,77313	1,90391
L1-ue27	20,3970	15,7728	38,6825	0,77329	1,89648
QF-1	21,7505	15,8576	38,8983	0,72907	1,78839

Fig. 51. Anàlisis MC-ICP-MS d'isòtops de plom de minerals de la mina 'de la Turquesa'. Font: Rafel *et al*. (en premsa).

tir del mineral de coure d'aquesta mina.

Caracterització elemental

Las mostres obtingudes entre els anys 2011 i 2015 foren analitzades amb l'espectròmetre INNOV-X, mod. Alpha (Museo Arqueológico Nacional, Madrid). A la figura 49 es presenten els valors obtinguts en % de pes. L'espectròmetre permet identificar de manera general els elements lleugers (LE) presents a la mostra, cosa que constitueix un paràmetre per comprovar-ne la qualitat. Algunes tenen un contingut en mineral de coure molt pobre, motivat pel fet que la major part de mostres provenen de material descartat durant els processos d'explotació. A més del coure, els elements que es detecten en totes les mostres són el ferro i l'arsènic. En 8 de les 25 mostres analitzades es detecta níquel i en 2 plom, en proporcions molt baixes. Les proporcions d'arsènic són variables; en algunes mostres es detecten proporcions As/Cu superiors al 5%, que serien susceptibles de produir coures arsenicals o metalls amb impureses altes d'aquest element. La presència d'arsènic és el tret més important que diferencia el mineral de la mina 'de la Turquesa' del d'altres mines dels voltants, en l'entorn del Montsant. Aquesta presència ha estat confirmada per anàlisis de Micro-Fluorescència de Raigs X (μ-XRF) realitzades al CENIM-CSIC amb l'equip FISHERCOPE X-RAY, model XUL.

Anàlisi mineralògica

Les mostres obtingudes en el curs de l'excavació s'analitzaren al CENIM-CSIC amb un difractòmetre de Raigs X Bruker AXS, model D8 Advance, equipat amb un tub de Co i una òptica de mirall Goebel, per obtenir un feix paral·lel i monocromàtic. Les condicions de treball utilitzades foren 40 kV i 30 mA. Tant el temps de mesura com el pas incremental s'optimitzaren per obtenir difractogrames d'alta qualitat, amb estadística de recompte apropiada, pics de difracció aguts i amb bona resolució i, a més, es garantí la detecció de fases minoritàries. Els assaigs es portaren a terme sobre un rang de 10 a 110° en 2 theta i un pas de 0,0015°. L'ajust dels difractogrames s'ha fet amb el mètode Rietveld.

Pel que fa als minerals de coure s'han identificat, a més de la malaquita, libethenita, $Cu_2(PO_4)(OH)$, calcopirita, $CuFeS_2$, i covellita, CuS; els dos darrers reflecteixen la mineralització primària [Fig. 50].

El mineral verd-blau clar carac-

Fig. 52. Diagrama comparatiu dels isòtops 206Pb/204Pb de la mina 'de la Turquesa' i d'altres mines dels voltants. Font: Rafel *et al*. (en premsa).

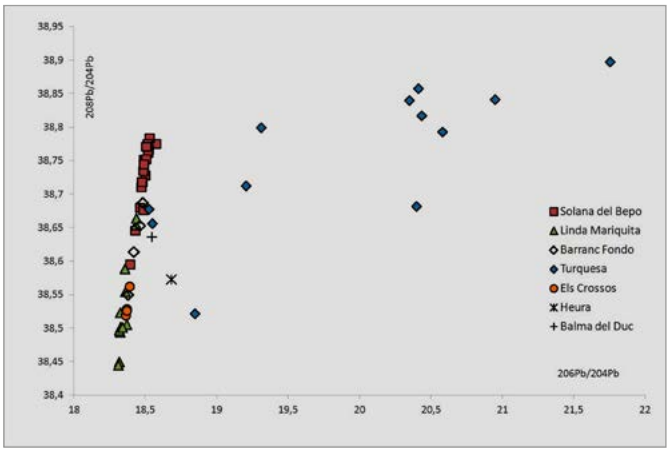
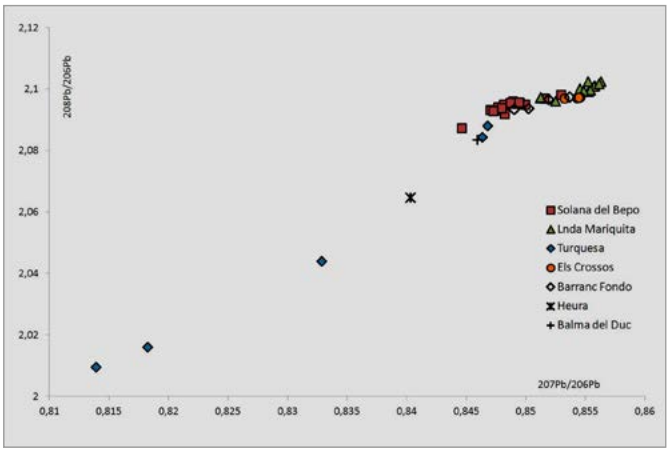


Fig. 53. Diagrama comparatiu dels isòtops 207Pb/206Pb i 208Pb/206Pb de la mina 'de la Turquesa' i d'altres mines dels voltants. Font: Rafel *et al*. (en premsa).



terístic de la mina 'de la Turquesa' fou sotmès a analítica XRD (Serveis de Raigs X de la Universitat del País Basc, difractòmetre PANlytical Cubi X3, amb tub de coure, goniòmetre vertical –geometria Bagg-Brentano–, ranures programables, intercanviador automàtic de mostres, filtre de níquel i detector PixCel; condicions de mesura 40 KV i 40 mA, escombrat entre 5 i 70° en 2 theta). Es tracta de crandallita, $CaAl_3(PO_4)(PO_3OH)(OH)_6$.

Caracterització per isòtops de plom

Els resultats de les 12 mostres analitzades als Serveis de Geocronologia de la Universitat del País Basc [Fig. 51] ofereixen una àmplia distribució amb valors molt radiogènics que assoleixen fins a 1,78 en la ràtio 208Pb/206Pb o 21,75 en la ràtio 206Pb/204Pb [Fig. 52]. La distribució es pot dividir en dos grups i, probablement, la zona intermèdia podrà ser coberta amb noves anàlisis, atès que l'estudi geològic no indica indicis d'una doble gènesi de la mineralització.

Aquests valors radiogènics permeten diferenciar el camp isotòpic de la mina 'de la Turquesa' de la resta de mines de l'àrea del Montsant, que presenten zones diferenciades amb el camp que ocupa la 'de la Turquesa', però amb alguns solapaments parcials [Figs. 52 i 53]. Per altra banda, el camp isotòpic de la mina "Linda Mariquita" (el Molar), a l'àrea el Molar-Bellmunt-Falset (Montero-Ruiz *et al.*, 2009; Montero-Ruiz, 2017), també es diferencia del de la mina 'de la Turquesa', tot i que té algun solapament amb la de la Solana del Bepo. Des del punt de vista de la composició aquestes diferències es concreten en la presència d'arsènic a la mina 'de la Turquesa', en una mineralització coure-ferro amb una mica de plom a la resta de mines del Montsant i en minerals del grup de la tennantita, amb arsènic, antimoni i plata a la "Linda Mariquita" (Montero-Ruiz *et al.*, 2012).

No obstant, és més complicat diferenciar aquesta mineralització radiogènica d'altres mines prehistòriques de trets similars, especialment de les mines asturlleoneses d'El Áramo (Huerga-Suárez *et al.*, 2012) i El Milagro (Huerga-Suárez *et al.*, 2014). L'àrea de distribució és bastant completa, excepte en una petita zona on la mina 'de la Turquesa' presenta valors superiors a 0,835 (ràtio 208Pb/206Pb) o inferiors a 18,80 (ràtio 206Pb/204Pb). És en aquesta zona exclusiva d'aquest jaciment on se situen el punxó de coure arsenical de la Coveta de l'Heura (Ulldemolins) i el vas de reducció de la Balma del Duc (Montblanc), que ja havíem assenyalat com a provinents de la mina 'de la Turquesa' (Rafel *et al.*, 2016; Montero-Ruiz, 2017). És a dir, tenim una certa seguretat de què el coure d'aquestes peces no prové de les mines asturlleoneses.

A tall de conclusió

Els elements amb què comptem per a situar cronològicament la mina 'de la Turquesa' són, en síntesi, els següents:

- L'evidència material de les eines lítiques de miner (pics i percussors, bàsicament), que s'emmarquen clarament en un horitzó prehistòric. El conjunt d'instrumental lític de la mina 'de la Turquesa' es pot interpretar com el resultat de dos subconjunts diferents, un de més antic i rudimentari des del punt de vista de la seva factura i un altre de més modern i de manufactura més complexa o bé com el resultat de la coexistència de dues tradicions diferents. Els pics més intensament modificats, aquells que tenen un dispositiu d'emmanegament en T, no es documenten en contextos anteriors a l'edat del bronze, com succeeix a la Solana del Bepo, on comptem

Fig. 54. Principals jaciments arqueològics en l'entorn de la mina 'de la Turquesa'. Font: elaboració pròpia (Núria Rafel).

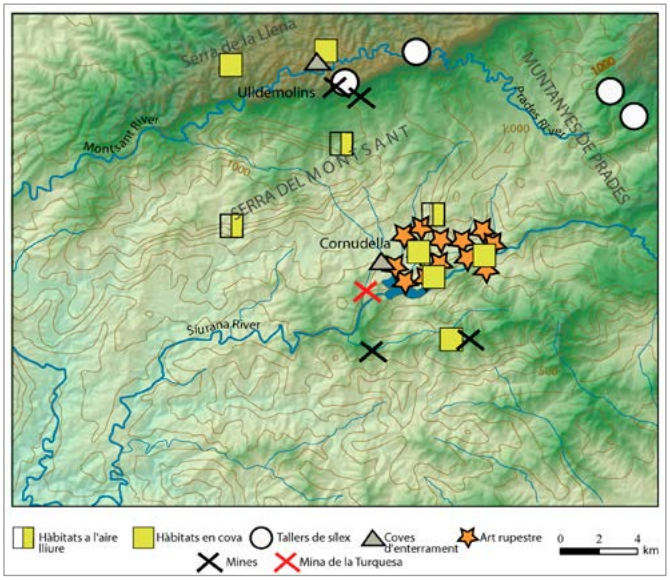
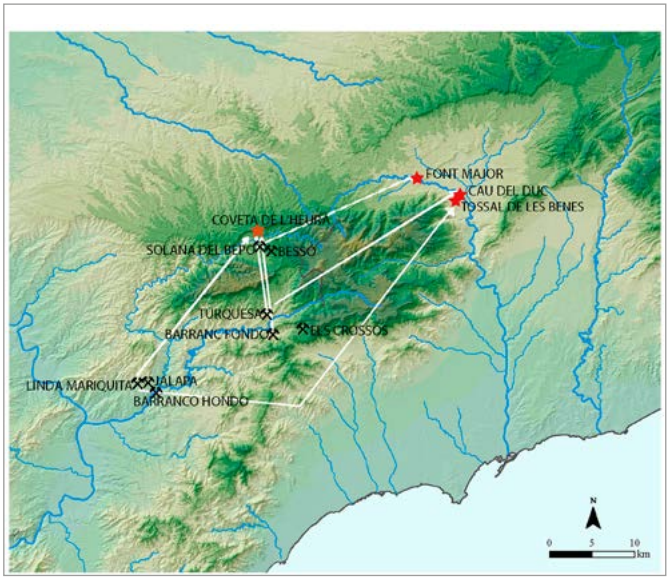


Fig. 55. Mines i jaciments amb peces de les quals s'indica el probable origen del mineral en base a l'analítica d'isòtops Pb. Font: Rafel *et al*. (2017).



amb datacions de primera meitat del II mil·lenni aC, és a dir, del bronze antic-mitjà (Rafel *et al.*, 2017; Rafel *et al.*, en premsa). Contràriament, però, el subgrup d'eines menys modificades o sense modificar, que constitueixen la majoria a la mina 'de la Turquesa', es documenten durant tota la prehistòria.

- Les datacions radiomètriques (C14) obtingudes del sediment que reblia el pou L1 i que ens proporcionen una data *ante quem* de l'alta edat mitjana. Les dues datacions fetes sobre material de rebliment del pou L1 (pol·len i sediment) proporcionen una data entre els segles VII i X dC.
- La correspondència de la signatura isotòpica de la mina amb materials arqueològics que s'emmarquen en el calcolític recent i l'edat del bronze antic i mitjà. En aquest sentit, cal recordar que les peces coincidents amb la signatura de la mina 'de la Turquesa' són el punxó de coure arsenical de la Coveta de l'Heura (Ulldemolins) i el vas de reducció de la Balma del Duc (Montblanc). Els punxons del tipus del de la Coveta de l'Heura es comencen a utilitzar en el calcolític, però el seu ús perdura en el bronze antic i mitjà, amb alguns tipus que perduren fins el bronze final. No obstant, l'estudi de l'evidència contextual i radiomètrica de la cova d'Ulldemolins ens ha portat a datar-lo en el calcolític recent (Rafel *et al.*, 2016). Els vasos de reducció estan en ús en el calcolític i el bronze antic i mitjà; en el bronze final la tecnologia del forn els va substituint. No obstant, la Balma del Duc només va ser habitada durant el calcolític i el bronze antic i mitjà, raó per la qual hem d'emmarcar el vas de reducció que s'hi va recuperar en aquest marge cronològic (Rafel i Soriano, 2017).

Cronològicament parlant, doncs, podem concloure que la mina 'de la Turquesa' fou explotada en època prehistòrica, en un lapse temporal que cal situar entre el calcolític recent i el final del bronze mitjà (2.800 a 1.300 aC). Una altra qüestió es datar les labors L1, L2 i L3. En el cas de l'L1 defensem una cronologia prehistòrica basant-nos, a més de tot el que hem anat exposant pel que fa al context, en el fet que la seva excavació va ser realitzada amb eines de pedra, sense que hi intervingués cap útil metàl·lic, cosa que situa el pou L1 en un moment tecnològic preromà. Pel que fa a L2 i L3, la primera d'elles molt probablement practicada mitjançant la tècnica de *fire-setting* (que es documenta des de la prehistòria fins l'època medieval), no podem fixar, de moment, la seva cronologia precisa. Estan en curs datacions per termoluminescència que potser podran aclarir aquest aspecte.

El període en què datem la mina, entre el calcolític recent i el bronze mitjà, constitueix un moment en què l'Alt Priorat compta amb una alta densitat de poblament que a més presenta una concentració significativa en l'entorn de la mina 'de la Turquesa' (Rafel *et al.*, 2017) [Fig. 54]. Amb 30 casos, la comarca del Priorat és la que compta amb més evidències d'art rupestre a Catalunya. En la seva major part es daten entre el neolític i l'edat del bronze i quasi la meitat són al municipi de Cornudella de Montsant, on s'ubica la mina 'de la Turquesa'. D'aquesta època comptem també amb jaciments que eren zones de taller, en concret per a l'elaboració del sílex, tan abundant a la comarca,amb coves sepulcrals, ja sigui naturals o lleugerament modificades i amb hàbitats tant en cova com a l'aire lliure. En canvi, a l'Alt Priorat les etapes posteriors, l'edat del bronze final i la primera edat del ferro, mostren una significativa manca de dades; sembla que el poblament de la zona sofreix una crisi o una recessió important. En definitiva, doncs, el context del poblament prehistòric a l'Alt Priorat atorga plausibilitat a la datació de calcolític i bronze antic i mitjà per a la mina objecte del nostre estudi.

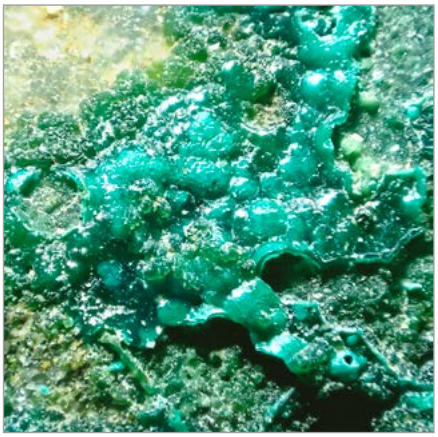


Fig. 56. Mina 'de la Turquesa': malaquita. C.V. 3 mm. Foto: Martí Rafel.

El reestudi d'aquest poblament que hem portat a terme mostra un panorama de comunitats vinculades al territori, però amb una certa mobilitat dins de la seva àrea de captació econòmica. S'organitzen en petits grups que viuen en coves, abrics i hàbitats a l'aire lliure i inhumen als seus morts col·lectivament, i en alguns casos individualment, en coves naturals o en paradolmens. La seva economia té una base agropecuària i la mineria hi té un paper d'escala limitada i constitueix una activitat a temps parcial. Les dades amb què comptem fins ara suggereixen que la distribució del metall de la mina 'de la Turquesa' cobria un radi d'uns 50 km [Fig. 55], en el marc d'unes xarxes d'intercanvi teixides amb les comunitats veïnes. En aquestes xarxes s'intercanviava també el sílex d'Ulldemolins, la presència del qual es certifica en jaciments de la demarcació de Lleida. Així doncs, els habitants de l'Alt Priorat entre 2.800 i 1.300 aC es dedicaren al benefici del coure com una activitat complementària. En el cas de la mina 'de la Turquesa' el mineral que explotaven era principalment malaquita [Fig. 56] que obtenien amb pics de pedra i, molt probablement, amb l'aplicació puntual de *fire-setting*, en un marc geològic caracteritzat per una mineralització molt fracturada per les falles i la meteorització, cosa que feia que es pogués clivellar i extreure amb una certa facilitat. Un cop extret

el material, era triturat amb masses-percussors a peu de mina per tal d'eliminar tota la ganga possible i deixar el mineral preparat per al transport i la ulterior transformació en peces.

LA PREHISTÒRIA I EL PATRIMONI MINER

El valor històric, geològic, arquitectònic i cultural de tot allò vinculat a la mineria és avui una realitat assumida per les institucions, ja siguin supranacionals (com la UNESCO o la UE) o bé nacionals i locals, i per cada cop més persones. Això ha generat una sèrie d'accions per tal de protegir el patrimoni miner que seria llarg d'enumerar i que han consistit, fonamentalment, en declaracions d'interès patrimonial i/o cultural i en l'arranjament d'antigues explotacions i dels serveis a elles vinculades que, quan ha estat possible, s'obren a la visita o es vinculen a museus miners.

Des d'aquestes línies, però, voldríem cridar l'atenció sobre la importància històrica de les més antigues explotacions mineres, les prehistòriques, i sobre la seva extrema fragilitat. Si bé a partir d'època romana, i no diguem en època industrial, és relativament fàcil reconèixer les antigues explotacions, les restes de labors prehistòriques, sovint emmascarades per treballs posteriors, són més difícils de detectar. És per això que la col·laboració i el treball conjunt de mineralogistes i historiadors pot portar a un millor coneixement de la mineria prehistòrica. A ull nu, es poden reconèixer les restes d'activitats d'explotació prehistòriques sobre tot per la presència d'instrumental de miner de pedra. Aquesta mena d'eines, molt desconegudes pel gran públic, són, en canvi, relativament fàcils de reconèixer amb un mínim de coneixements. En les línies anteriors n'hem proporcionat alguns exemples.

Compartir i donar part de troballes d'aquesta mena és una qüestió clau per tal de fer possible l'estudi d'aquests antiquíssims testimonis de l'activitat minera i aprofundir, en definitiva, en la nostra història passada.

Referències bibliogràfiques

- Aitken, M. J. (1999). "Archaeological dating using physical phenomena". *Rep. Prog. Phys.*; núm. 62, pp. 1333-1376.
- Ambert, P. (2002). "Utilisation préhistorique de la technique minière d'abattage au feu dans le district cuprifère de Cabrières (Hérault)". *C. R. Palevol*; núm. 1, pp. 711-716.
- Ambert, P., *et al.* (2009). "The Copper Mines of Cabrières (Hérault) in Southern France and the Chalcolithic Metallurgy". Dins: T. L. Kielin & B. W. Roberts (eds.), *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway*. *Universitatsforschungen zur Prähistorischen Archäologie*; núm. 169, pp. 285-295.
- Amigó, R., Espasa, J.B. (1990). *Noms actuals i pretèrits del terme municipal de Cornudella de Montsant*. Reus: Associació d'Estudis Reusencs.
- Ancel, B., Py, V. (2008). "L'abattage par le feu: une technique minière ancestrale". *Archéopages*; núm. 22, pp. 34-41.
- Bąbel, J., *et al.* (2005). "The radiocarbon dating of the neolithic flint mines at Krzemionki in central Poland". Dins: *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*; núm. 240 (1-2), pp. 539-543.
- Bareche, E. (1997). "Mines de Catalunya. Cornudella del Montsant (Priorat)". *Mineralogistes de Catalunya: Revista de Mineralogia i Paleontologia*; núm. VII (1), pp. 16-21.
- BDMIN. *Base de datos de recursos minerales*. Instituto Geológico y Minero de España. <http://doc.igme.es/bdmin/VerIndicio_IGME.aspx>
- Blas Cortina, M. A. De (1996). "La mineria prehistórica y el caso particular de las explotaciones cupríferas de la Sierra del Áramo". *Gallaecia*; núm. 14-15, pp. 167-195.
- Bouquet, L., *et al.* (2006). "Les Neuf-Bouches (district minier Cabrières-Péret), la plus ancienne exploitation minière de cuivre de France: travaux récents, conséquences". *Bulletin de la Société Préhistoriques Française*; núm. 10-1, pp. 143-159.
- Breglia, F., Caricola, I., Larocca, F. (2016). "Macrolithic tools for mining and primary processing of metal ores from the site of Grotta della Monaca (Calabria, Italy)".*Journal of Lithic Studies*; núm. 3 (3), pp. 57-76.
- Cailleaux, A. (1951). "Morphoskopische Analyse der Geschiebe und Sandkörner und ihre Bedeutung für die Paläoklimatologie". *Geologische Rundschau*; núm. 40, pp. 5-13.
- Camprubí, A., Costa, F., Melgarejo, J.C. (1994). "Mineralizaciones de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya): tipología". *Boletín Geológico y Minero*; núm. 105-5, pp. 444-453.
- Camprubí, A., *et al.* (2003). "Mining and geological knowledge during the Neolithic: a geological study on the variscite mines at Gavà, Catalonia". *Episodes*; núm. 26 (4), pp. 295-301.
- Castaing, J., *et al.* (2005). "L'abattage préhistorique au feu dans le district minier de Cabrieres (Hérault): évidences par thermoluminescence (TL)". Dins: *La premiere métallurgie en France et dans les pays limitrophes*. Memòria XXXVII de la Société Préhistorique Française; pp. 53-62.

- Collet, H., Hauzeur, A., Lech, J. (2008). "The prehistoric flint mining complex at Spiennes (Belgium) on the occasion of its discovery 140 years ago". Dins: P. Allard, *et al.* (eds.), *Flint Mining in Prehistoric Europe Interpreting the archaeological records.* European Association of Archaeologists, 12th Annual Meeting Cracow, Poland, 19th-24th September 2006. *BAR International Series*; núm. 1891, pp. 40-77.
- Consuegra, S., *et al.* (2018). "The Early Neolithic flint mine of Casa Montero (Madrid, Spain), 5350-5250 cal BC". *Trabajos de Prehistoria*; núm 75 (1), pp. 52-66.
- Cortell, A. (2016). "El ocre en la Prehistoria, entre la funcionalidad y el simbolismo". *APL* XXXI; pp. 187-211.
- Costa, F., Camprubí, A., Melgarejo, J.C. (1994). "Aproximación geológica a las minas neolíticas de fosfatos férrico-alumínicos de Gavà (Catalunya)". *Boletín Geológico y Minero*; núm. 105-5, pp. 436-443.
- Delgado-Raack, S., Gómez-Gras, D. (2017). "Technological-functional study of the macrolithic artefacts from Solana del Bepo". Dins: N. Rafel, I. Soriano, S. Delgado-Raack (eds.), *A prehistoric copper mine in the north-east of the Iberian Peninsula: Solana del Bepo (Ulldemolins, Tarragona). Revista d'Arqueologia de Ponent*; núm. extra 2, pp. 45-63.
- Huelga-Suarez, G., *et al.* (2012). "Lead isotopic analysis of copper ores from the Sierra El Aramo (Asturias, Spain)". *Archaeometry*; núm. 54 (4), pp. 685-697.
- Huelga-Suarez, G., *et al.* (2014). "Isotopic composition of Lead in Copper Ores and a Copper artefact from the La Profunda Mine (León, Spain)". *Archaeometry*; núm. 56 (4), pp. 651-664.
- Hunt Ortiz, M. (2005). "La explotación de los recursos minerales de Europa y la Península Ibérica durante la Prehistoria". Dins: *Bocamina. Catálogo exposición Museo de la Ciencia y el Agua*, Murcia, pp. 3-18.
- Levato Ch. (2016). "Iron oxides prehistòric Mines. An European Overview". *Anthropologica et Praehistorica*; núm. 126/2015, pp. 9-23.
- Melgarejo, J.C. (1987). *Estudi geològic i metal·logenètic del Paleozoic del Sud de les Serralades Costaneres Catalanes*. Tesi doctoral inèdita. Barcelona: Departament de Cristal·lografia, Mineralogia i Dipòsits Minerals, Universitat de Barcelona. 615 pp.
- Migal, W. (1997). "Reconstruction of the flint extraction System at Krzemionki". Dins: A. Ramos-Millán, M.A. Bustillo (eds.), *Siliceous rocks and culture*. Granada 1997; pp. 315-325.
- Montero-Ruiz, I. (2017). "La Solana del Bepo from an archaeometallurgical perspective". Dins: N. Rafel, I. Soriano, S. Delgado-Raack (eds.), *A prehistoric copper mine in the Noth-East of the Iberian Peninsula: Solana del Bepo (Uldemolins, Tarragona)*. *Revista d'Arqueologia de Ponent*; núm. extra 2, pp. 65-79.
- Montero-Ruiz, I., *et al.* (2009). "Provenance of lead in First Iron Age sites in Southern Catalonia (Spain)". Dins: J.F. Moreau, R Auger, J. Chabot, A. Herzog (eds.), *Proceedings ISA 2006. 36th International Symposium on Archaeometry (2-6 may, 2006, Quebec, Canada)*, pp.391-398. Quebec. *Cahiers d'archéologie du CELAT*; núm 25. Sèrie Archéométrie, núm. 7.
- Montero-Ruiz, I., *et al.* (2012). "El cobre de Linares (Jaén) como elemento vinculado al comercio fenicio en El Calvari de El Molar (Tarragona)". *Menga*; núm. 3, pp. 167-186.
- O'Brien, W. (2015). *Prehistoric copper mining in Europe, 5500-500 BC*. Oxford University Press.
- Pernicka, E., Lutz, J., Stöllner, Th. (2016). "Bronze Age Copper Produced at Mitterberg, Austria, and its Distribution". *Archaeologia Austriaca*; núm. 199, pp. 19-55.
- Py, V., Ancel, B. (2006). "Archaeological experiments in fire-setting: protocol, fuel and anthracological approach". Dins: *Charcoal analysis: new analytical tools and methods for archaeology. Papers from the table-ronde held in Basel, 14-15 October 2004*, BAR International Series S 1483.
- Rafel, N., Montero, I., Soriano, I., Delgado-Raack, S. (2016). "L'activité minière préhistorique dans le nord-est de la Péninsule Ibérique. Étude sur la Coveta de l'Heura et l'exploitation du cuivre à la Solana del Bepo (Tarragone, Espagne)". *Bulletin de la Société Préhistorique Française*; núm. 113 (1), pp. 95-129.
- Rafel, N., Soriano, I. (2017). "The archaeological site of Solana del Bepo and the archaeology of the Priorat between the Late Chalcolithic and the First Iron Age". Dins: N. Rafel, I. Soriano i S. Delgado-Raack (eds.), *A prehistoric copper mine in the Noth-East of the Iberian Peninsula: Solana del Bepo (Uldemolins, Tarragona).* Lleida: Universitat de Lleida. *Revista d'Arqueologia de Ponent*; núm. extra 2, pp. 11-30.
- Rafel, N., Soriano, I., Delgado-Raack, S. (2017). *A prehistoric copper mine in the Noth-East of the Iberian Peninsula: Solana del Bepo (Uldemolins, Tarragona).* Lleida: Universitat de Lleida. *Revista d'Arqueologia de Ponent*; núm. extra 2.
- Rafel, N., Hunt, M., Soriano, I., Delgado-Raack, S. (eds.) (en premsa). *Prehistoric copper mining in the North-East of the Iberian Peninsula: La Turquesa or Mas de les Moreres mine (Cornudella de Montsant, Tarragona, Spain)*. Lleida: Universitat de Lleida. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, núm. extra 3.
- Risch, R. (1995). *Recursos naturales y sistemas de producción en el Sudeste de la Península Ibérica entre 3000 y 1000 ANE*, PhD Dissertation. Bellaterra: Universitat Autònoma de Barcelona. <http://hdl.handle.net/10803/5524>
- Risch, R., Martínez, F. (2008). "Dimensiones naturales y sociales de la producción de hachas de piedra en el noreste de la Península Ibérica". *Trabajos de Prehistoria*; núm. 65 (1), pp. 47-71.
- Rodrigues dos Santos, A. L. (2015). *Geoquímica, mineralogia e luminescência de um Mundo Pré-histórico em*

Negativo. Tesi doctoral. <http://ria.ua.pt/handle/10773/14828>.
- Schneider, J. (2002). "Milling tool design, stone textures and function". Dins: R. Treuil, H. Procopiou (eds.), *Mouldre et broyer.* París: CNRS; pp. 31-53.
- Stöllner, T., Eibner, C., Cierny, J. (2004). "Prähistorischer Kupferbergbau Arthurstollen –Ein neues Projekt im Südrevier des Mitterberg-Gebietes (Salzburg)". Dins: G. Weisgerber, G. Goldenberg (eds.), *Alpenkupfer –Rame delle Alpi, Seminario Urgeschichtliche Kupfergewinnung im Alpenraum, Universität Innsbruck, 4-8 October 1995*. Bochum: Deutsches Bergbaumuseum; pp. 95-106.
- Timberlake, S. (2003). *Excavations on Copa Hill, Cwmystwyth (1986-1999). An Early Bronze Age copper mine within the uplands of Central Wales*. British Archaeological Reports British Series 348. Oxford: Archaeopress.
- Villaba, P. (2000). "Minería neolítica en Europa occidental: el sílex y la calaíta". Dins: *Primer Simposio sobre la Minería y la Metalúrgia Antigua en el SW Europeo*; núm. 1.3, pp. 61-76.
- Villaba, P. (2003). "De la mine à l'object: Can Tintorer, un exemple de production et distribution de biens de prestigi social". Dins: T. Stöllner, G. Korlin, G. Steffens, J. Cierny (eds.), *Man and Mining-Mensh und Berggebau. Studies in honour of Gerd Weisgerberger on ocasion of his 65th birthday*. Bochum: Der Anschnitt, Beiheft; pp. 447-454.
- Weisgerber, G., Willies, L. (2000). "The use of fire in prehistoric and ancient mining-firesetting". Dins: *La pyrotechnologie à ses débuts. Evolution des premières industries faisant usage du feu*. *Paléorient*; núm. 26 (2), pp. 131-149.
- Welc, F., *et al.* (2016). "Reading ofground-penetratin radar (GPR) images of Prehistoric flint mine; case study from KrZemionki". *Studia Quaternaria*; núm. 33 (2), pp. 117–130.
- Williams, A. (2015) "Where did the Prehistoric Copper go? Linking the Great Orme ores to Bronze Age metalwork". *The Journal of The Great Orme Explorations Society*; pp. 1-10.

Núria Rafel
Universitat de Lleida
nrafel@historia.udl.cat
Aleu Andreazini
Universitat de Barcelona
aleuan@gmail.com
Selina Delgado-Raack
Universitat Autònoma de Barcelona
selina.delgado@uab.cat
Mark A. Hunt
Universidad de Sevilla
mhunt@us.es
Joan Carles Melgarejo
Universitat de Barcelona
joan.carles.melgarejo.draper@ub.edu
Ignacio Montero
Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid
ignacio.montero@cchs.csic.es
Ana Luísa Rodrigues
Universidade de Lisboa
alsr@ctn.tecnico.ulisboa.pt
Ignacio Soriano
Universitat Autònoma de Barcelona
ignacio.soriano@uab.cat