

# Una explotación de cobre prehistórica: 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 archaeometallurgical 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 objects and 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.*

## LA MINERÍA PREHISTÓRICA EUROPEA

### La minería no metálica

Equipados con unos conocimientos rudimentarios y un instrumental técnico de limitadas posibilidades, los europeos de la Prehistoria iniciaron ya en el período Paleolítico la aventura extraordinaria de explorar las entrañas de la Tierra. Los inicios de la minería en Europa no están vinculados a la extracción de minerales metálicos, sino que son muy anteriores al inicio de las Edades de los Metales y se relacionan con la extracción de tres minerales no metálicos: el ocre, el sílex y la calaíta. El sílex era un material utilitario que se empleaba para la manufactura de herramientas de piedra de todo tipo (cuchillos, puntas, buriles, dien-

tes de hoz, raspadores, entre muchos otros), especialmente durante el largo período de la Prehistoria durante el cual no se conocen aún las posibilidades de los minerales metálicos para la fabricación de herramientas. A pesar de que el sílex es fácil de obtener en afloramientos superficiales, la gran demanda de que fue objeto, especialmente durante el Neolítico, ocasionó la apertura de explotaciones subterráneas para obtener más volumen de material y, sobre todo, de mineral de más calidad. El ocre fue utilizado como material para las representaciones murales pintadas y también como pintura corporal, a la cual, además de su elevado valor simbólico, parece que se le otorgaban cualidades como repelente de insectos y como

protector del sol y del viento. Se utilizaba, además, como medicina, conservante de materia orgánica y adhesivo (Cortell, 2016). En definitiva, pues, unía a su importante papel simbólico usos de carácter funcional [Fig. 1]. Lo que los arqueólogos denominamos con el vocablo calaíta –a causa de la denominación y descripción del naturalista del siglo I d.C. Plinio el Viejo (*Nat. Hist.* XXXVII, 33)– reúne una serie de fosfatos de aluminio (variscita, metavariscita, crandallita, wavellita, turquesa...), entre los cuales los más conocidos son la variscita y la turquesa. Por lo que conocemos hasta la fecha, parece que la calaíta tuvo solo una función simbólica: a través de la elaboración de piezas de esta materia (especialmente cuentas de collar)



Fig. 1. Ogres recuperados en las minas neolíticas de Can Tintorer (Gavà). Foto: cortesía de Pepa Gasull.

los antiguos la convirtieron durante el Neolítico en un bien de prestigio social, un objeto de ostentación en vida y en el Más Allá, como pone de manifiesto su abundancia en sepulcros.

Las diferentes características de las explotaciones mineras más antiguas no dependen de los recursos técnicos, muy similares en todas partes durante largos períodos de tiempo, sino de las características geológicas de cada explotación. Las minas europeas más antiguas alternan labores en trincheras a cielo abierto, pozos, galerías y túneles, sin que se pueda observar una evolución en el tiempo de estos diferentes tipos. El instrumental con

el que contaban estaba hecho con cornamentas y huesos de animal, madera y piedra. Con estos materiales se manufacturaban cinceles, punzones, palas, cuñas, mazas y picos, las principales herramientas con que contaba la minería prehistórica (Hunt, 2005). Desde momentos muy antiguos se documenta en algunas explotaciones la técnica conocida con el término *fire-setting*, que consistía en calentar la veta mineral mediante fuegos localizados y enfriarla a continuación, de manera que el contraste térmico produjera fisuras que facilitasen la fragmentación del material encajante. Con la misma finalidad se observa también en la minería prehistórica eu-

ropea el uso de cuñas de madera que se introducían en los puntos de extracción y se mojaban para que su aumento de volumen ayudase a la formación de grietas. Traviesas de madera, trípodes, cuerdas, escaleras, bolsas-saco de piel, cestos de materia vegetal y antorchas impregnadas con grasas animales y resinas completaban el limitado instrumental con el cual los europeos prehistóricos explotaron los minerales durante milenios [Fig. 2].

Las minas más antiguas conocidas hasta la fecha están en relación con la explotación de ocre (óxidos e hidróxidos de hierro). Hasta ahora se han documentado cinco de estas explotaciones en el continente europeo: Tzines (Grecia), Rydno (Polonia), Lovas (Hungría), Bas Sulzburg (Alemania) y Grotta della Monaca (Italia) (Levato, 2016). La más antigua es la de Tzines, en la isla griega de Thassos, una explotación en galerías fechada entre 18.350 y 4.400 a.C. (Paleolítico superior y Neolítico) [Fig. 3]. La mina de Lovas era una explotación a base de pozos que ha sido fechada entre 13.600 y 13.000 a.C. (Paleolítico superior). En Rydno (Skarżysko-Kamienna, Polonia) se llevaron a cabo explotaciones mediante grandes pozos a cielo abierto durante el Paleolítico superior y el Mesolítico (21.000-9.500 a.C.).

El resto de minas de ocre que hemos citado son ya posteriores. La de Bad Sulzburg (Baden-Württemberg, Alemania) se explotaba mediante la excavación de pequeñas

Fig. 2. Reconstrucción artística de los trabajos en la mina de sílex neolítica de Cissbury Ring, Worthing (Inglaterra). Fuente: P.P.S. Brinded-National Trust.

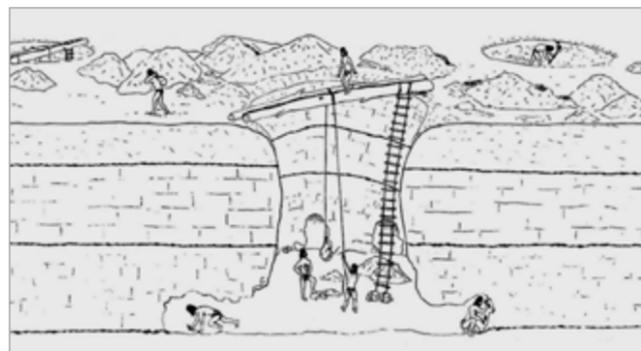


Fig. 3. Pozo 1 de la mina de hematitas de Tzines, Thassos (Grecia). Se trata de una galería mutilada por trabajos mineros posteriores que medía en el momento del hallazgo unos 7 metros de recorrido. Foto: Deutsches Bergbau-Museum, Bochum.



Fig. 4. Entrada del pozo 1 de la mina de ocre de Bad Sulzburg, Baden-Württemberg (Alemania). Foto: Gert Goldenberg-Institut für Archäologien, Universität Innsbruck; fuente: Levato (2013).

cavidades [Fig. 4] y en la ya muy posterior (principio del V milenio a.C.) de Rydno (Skarżysko-Kamienna-Wąchock, Polonia) la explotación se llevaba a cabo mediante pozos a cielo abierto que tenían como promedio 4 m de largo, 1 m de ancho y 3 m de profundidad. La mina conocida como Grotta della Monaca (Sant'Agata di Esaro, Italia), fechada entre finales del V milenio a.C. y la primera mitad del IV [Fig. 5], es en realidad una gran cavidad cárstica de medio kilómetro de recorrido en el interior de la cual los prehistóricos excavaron galerías sostenidas por pilares con el objetivo de explotar los óxidos de hierro. Este segundo grupo de minas de ocre coexisten ya con la importante minería de sílex que se documenta en Europa a partir del Neolítico.

Así pues, conocemos la minería de óxidos de hierro, la más antigua documentada en Europa, por una serie de ejemplos en número limitado; por el contrario, la minería de sílex neolítica conoce una verdadera explosión, tanto en relación a la cantidad de explotaciones conocidas como en relación a la complejidad de las mismas. En muchas de ellas lo que documentamos es un sistema de explotación basado en pozos poco profundos o en sistemas de trincheras en V, de 3-4 m de anchura y longitudes que llegan a los 10 m; sin embargo, en diversas zonas mineras europeas se desarrolla en este momento una minería basada en sistemas extractivos más complejos, de tipo túnel y galería. Es también en este periodo que se datan cronológicamente las explotaciones mineras de calaíta y

Fig. 5. Herramientas de minero prehistórico exhumadas en la mina italiana de la Grotta della Monaca (mazas, mazas-hachas y picos). Algunas de ellas presentan una ranura transversal para fijar los mangos con cuerdas y material adhesivo. Fuente: Breglia et al. (2016).





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



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

su uso intensivo como material ornamental.

La explotación europea de calaíta mejor conocida y estudiada hasta ahora está en territorio catalán. Se trata de la mina de Can Tintorer (Gavà, Barcelona), fechada entre finales del V milenio a.C. e inicios del IV. El área de explotación ocupa unas 230 hectáreas, de las que solamente se han excavado y estudiado una pequeña parte [Figs. 6 y 7]. La posición vertical de los estratos obligó a los mineros de Can Tintorer a extraer el mineral mediante una red subterránea de pozos, galerías y cámaras interconectadas que en ocasiones pueden llegar a tener varios kilómetros, siendo la profundidad máxima a la que se llegó 14 m. Las investigaciones en la mina han documentado la existencia de pozos casi verticales que, con pequeñas plataformas cada 2 m, se van encañando los unos con los otros. Algunos de estos pozos tienen como finalidad la comunicación entre los distintos niveles de la red general. Las llamadas galerías de tránsito, estrechas y de poca altitud, tienen como objetivo alcanzar mineralizaciones nuevas y, finalmente, las salas o cámaras de explotación son grandes espacios de dimensiones muy variables (Villalba, 2000). Con todo, cabe señalar que los distintos

tipos no se presentan nunca aislados, sino formando parte de redes de explotación complejas [Fig. 8]. A pesar de que el objetivo de la explotación era la variscita, se beneficiaba también, de forma complementaria, sílex, ópalo, cuarzo y ocre. La calaíta de Can Tintorer era distribuida por toda Cataluña y el valle del Ebro y llegaba al Midi francés (Villalba, 2003).

Como ya hemos dicho, durante el Neolítico prolifera en Europa la minería del sílex por lo que mencionaremos solamente algunos casos significativos a título de ejemplo. En general se puede afirmar que las minas de sílex europeas comparten los mismos sistemas de extracción; las diferencias entre ellas no derivan tanto de un diferente grado de desarrollo tecnológico como de factores inherentes a las características de cada yacimiento. La profundidad, posición y morfología de las mineralizaciones y la compacidad y dureza del material encajante determinan las diferentes formas de ataque. Villalba (2000) ha sintetizado los tipos de explotación más comunes:

1. Salas de planta más o menos circular con pozo de acceso.
2. Galerías que se desarrollan de manera radial en la base del acceso, formando a veces lo que ha venido en denominarse "planta en

margarita", que algunas veces presenta, además, alvéolos.

3. Salas de planta aproximadamente circular que se agrupan formando galerías de largo recorrido.

4. Galerías largas con salas irregulares.

El yacimiento minero de Spiennes (Mons, Bélgica) constituye una de las minas de sílex más grandes de Europa. Fue objeto de un descubrimiento precoz en los años 60 del siglo XIX y hoy forma parte del Patrimonio Mundial de la UNESCO. Se localiza en un paraje donde el substrato geológico es una creta del Cretácico superior cubierta por arenas glauconíticas del Terciario y *loess* de la última época glacial (Würm o Wechseliense) que incluye vetas muy abundantes y de gran espesor de sílex negro. Como tantas minas de sílex europeas, se fecha en el Neolítico, entre 4.320 y 2.300 a.C., un lapso de más de dos milenios durante los cuales parece que se laboreó ininterrumpidamente en la mina. El yacimiento ocupa entorno a unas 100 hectáreas y en él se documentan una gran diversidad de soluciones tecnológicas para la extracción del mineral que, como sucede a menudo en el estudio de la minería antigua, solo han sido parcialmente excavadas y estudiadas arqueológicamente. Miles de pozos de entre 0,80 y 1,20 m de diámetro y de hasta 16

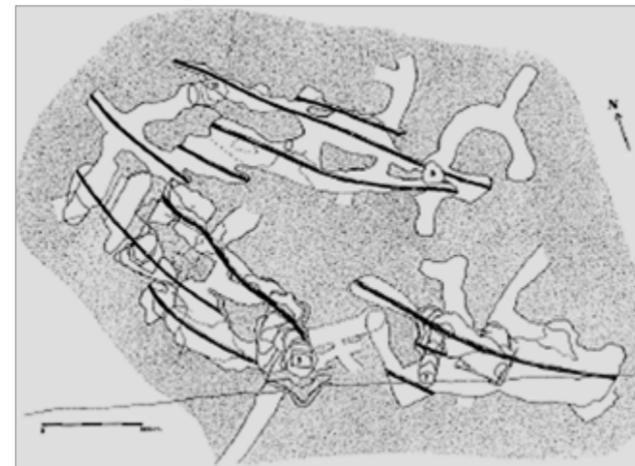


Fig. 8. Planta donde se muestra la relación de la red formada por las minas 5, 11, 3 y 7 de Can Tintorer, que se comunican a profundidades variables, con los estratos mineralizados. Fuente: Villalba (2003).



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

m de profundidad dan acceso a una inmensa red de galerías. La minería de Spiennes [Figs. 9 y 10] se caracteriza por trabajos en galería que van explotando las diferentes vetas, estratificadas, de sílex, normalmente a partir de 5 m de profundidad. Se ha podido constatar que en algunas labores se desestimaban los primeros estratos de sílex para ir a buscar los más profundos y de mejor calidad. El sistema de extracción del mineral consistía en ir siguiendo las vetas de sílex con galerías, dejando la veta en la pared o bien en la base.

Sin embargo, en otras ocasiones se iba dejando la veta de sílex en el techo para abatirlo después de golpe, de tal manera que al caer al suelo el bloque de sílex se fragmentaba (el método llamado "fulminante" o *striking*). Para que el bloque del techo se aguantara hasta "fulminarlo" se hacían paredes medianeras en la creta y se apuntalaba con madera. El hecho de que en el yacimiento, además de las minas, se hayan documentado restos de hábitat y taller permite conocer mejor que en otras minas los sistemas de explotación

y el marco social en el que estos se desarrollaron. El sílex era después distribuido tanto en bruto como manufacturado y abastecía con él a las comunidades situadas alrededor de las minas en un radio de unos 50 km, aunque algunos productos específicos (hachas, láminas y algún instrumento sobre lasca) se intercambiaban con comunidades situadas a distancias de más de 150 km (Collet *et al.*, 2008).

Las minas de sílex veteadas de Krzemionki (Polonia) constituyen, junto con las de Spiennes y las de Grimes Graves y Cisbury en Inglaterra, uno de los conjuntos más grandes y representativos de la minería de sílex neolítica europea. La explotación estuvo activa desde el Neolítico hasta la Edad del Bronce. Sus aproximadamente 4.000 labores mineras representan todas las técnicas de extracción documentadas en la Prehistoria [Fig. 11]. Los tipos principales, del más sencillo al más complejo, son el pozo (aprox. 4 m de boca por 3 m de profundidad), la galería-nicho (pozos con galerías tipo nicho que tienen unos 2 m de desarrollo y llegan a los 4,5 m de profundidad), las minas de pilares (que alcanzan los 6 m de profundidad y están constituidas por un pozo y galerías que llegan a los 7 m, con pilares para evitar el colapso del techo) y las minas de cámara (compuestas por un pozo profundo, que

Fig. 10. Mina de sílex de Spiennes, Mons (Bélgica). Foto: J. L. Dubois\_SRPB; fuente: <<http://www.minesdespiennes.org>>.





Fig. 11. Tipos principales de trabajos de explotación en la mina de Krzemionki (Polonia): 1) pozo, 2) galería-nicho, 3) mina de pilares, 4) cámara. Fuente: composición a partir de Migal (1997).

puede llegar a los 9 m, y una amplia y compleja excavación con un sistema de cámaras y corredores que alcanzan los 15 m). Los métodos de explotación de esta mina ponen de manifiesto un profundo conocimiento empírico de la geología del territorio que lleva a adoptar unas soluciones extractivas u otras y, por otra parte, constituye un catálogo de las soluciones técnicas más avanzadas de la época [Fig. 12]. Las minas de cámara más grandes y complejas alcanzan los 9 metros de profundidad y tienen áreas de unos pocos

Fig. 12. Mina de pilares en Krzemionki (Polonia). Foto: Krzemionki Archaeological Museum and Reserve "Krzemionki".



centenares de metros cuadrados (Migal, 1997; Welc *et al.*, 2016). Las dataciones radiocarbónicas sitúan la mina entre 3.500 y 2.900 a.C. (Babel *et al.*, 2005). La zona minera estaba rodeada de campamentos de mineros y artesanos del sílex que manufacturaban piezas a partir del material extraído. El sílex de Krzemionki no tenía solo una distribución regional sino que piezas manufacturadas en el yacimiento se localizan a más de 650 km de distancia: Lituania, Ucrania, Chequia, Alemania, Eslovaquia. Como las de Spiennes, las minas Krzemionki han sido declaradas Patrimonio Mundial por la UNESCO.

La única explotación de sílex excavada hasta ahora en España es la de Casa Montero, en Madrid. Descubierta casualmente a principios del presente siglo, las prospecciones que se han llevado a cabo revelan la existencia de casi 4.000 labores. El período de explotación fue de solo un siglo, aproximadamente, a partir de una fecha que cabe situar entre 5.350 y 5.250 a.C. De momento se han excavado unos 338 pozos, una pequeña parte de los existentes [Fig. 13]. El sistema casi exclusivo de excavación en esta mina es el pozo, a pesar de que hay algunas extracciones a cielo abierto, aunque muy minoritarias. Los pozos son estrechos (media de 1,5 m de boca), de manera que solo podía trabajar en ellos una persona, y tenían profundidades variables, que alcanzan los

Fig. 13. Casa Montero, Madrid. La zona centro-este del yacimiento durante la excavación (2005-2006). Foto: Visión Aérea SL, Proyecto Casa Montero; fuente: Susana Consuegra.



9,26 m [Figs. 14, 15 y 16]. Las repisas, los encajes para poner los pies en las paredes de los pozos, el ahumamiento de la morfología general de las perforaciones, constituyen recursos para maximizar el trabajo. Como en muchas otras minas europeas, en Casa Montero había talleres a pie de mina para transformar el mineral obtenido y manufacturar piezas, que, en el caso de este yacimiento madrileño, son mayoritariamente hojas de hacha. Parece que las poblaciones que fueron responsables de los procesos de extracción y talla constituyeron grupos con una cierta movilidad que solo trabajaban estacionalmente en la mina, concretamente durante la primavera, como han puesto de manifiesto los taxones vegetales identificados (Consuegra *et al.*, 2018).

Con este rápido repaso a los primeros pasos de la minería europea hemos podido ver, en definitiva, como antes de la minería metálica los pobladores europeos contaban ya con los conocimientos mineros y los recursos mínimos para sacar adelante explotaciones de nuevos materiales.

### La más antigua minería metálica

Hasta fechas recientes, atribuir el origen de la minería y la metalurgia europeas a artesanos del Próximo Oriente, igual que tantas otras cosas de la primera historia europea, ha constituido un lugar común. Si bien



Fig. 14. Casa Montero, Madrid. El pozo UE 3027 ya excavado y visto desde la boca. Foto: Proyecto Casa Montero; fuente: Susana Consuegra.



Fig. 15. Casa Montero, Madrid. El pozo UE 3027 ya excavado y visto desde el fondo. Foto: Proyecto Casa Montero; fuente: Susana Consuegra.

la influencia del Próximo Oriente hacia el este y el oeste es innegable, hoy sabemos que la minería y la metalurgia europeas se inician contemporáneamente a las del foco civilizador oriental y, además, su contexto cultural y tecnológico es distinto. De manera que la vieja teoría del *ex Oriente lux* parece que se tambalea, cuando menos en relación al aspecto del que tratamos en estas líneas.

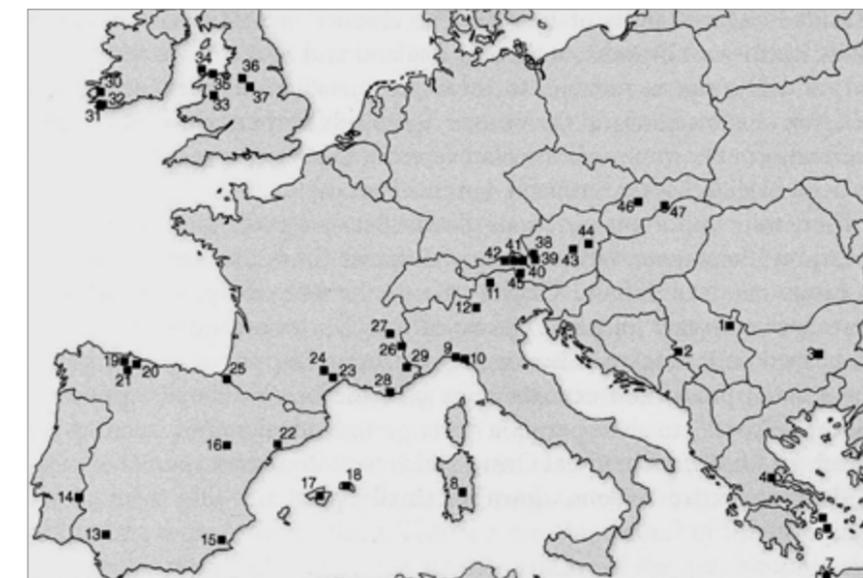
A partir del Calcolítico y durante toda la Edad del Bronce, la minería metálica, y más concretamente la del cobre, se va consolidando y alcanza metas importantes que ya no

Fig. 16. Casa Montero, Madrid. Marcas de instrumental minero en las paredes de uno de los pozos. Foto: Proyecto Casa Montero; fuente: Susana Consuegra.



serán superadas hasta época romana. Por otro lado, la práctica de la minería se va extendiendo por los diferentes territorios europeos que cuentan con recursos cupríferos [Fig. 17] y surgen gran cantidad de minas. Algunas de ellas son de poca magnitud y suplen una demanda estrictamente local, pero otras superan en mucho la escala local. Una obra muy reciente (O'Brien, 2015)

Fig. 17. Minas y distritos con explotaciones prehistóricas de cobre en 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) Chinfión, 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. Fuente: O'Brien (2015).



sintetiza los conocimientos con que contamos hasta ahora sobre la minería de cobre europea, desde los inicios a finales del VI milenio a.C. hasta la II Edad del Hierro. Algunos ejemplos nos darán una visión general de la misma.

La primera minería metálica europea se origina en los Balcanes, donde se documenta una metalurgia muy precoz, como ponen de mani-

fiesto los restos de escorias de cobre localizadas en el poblado de Belovode (Serbia) en niveles que datan de fines del VI milenio a.C. o inicios del V. Entre el 5.400 y el 5.300 a.C. (Calcolítico) se inicia la explotación de la mina de cobre de Rudna Glava (Majdanpek, Serbia), hoy por hoy la mina de cobre más antigua de Europa. Se trata de fechas coetáneas a las del Próximo Oriente, con la diferencia de que parece que la escala de producción fue mucho mayor en los Balcanes. Algunas dataciones sugieren explotaciones de principios del VI milenio que, de confirmarse, podrían indicar una fase de explotación premetalúrgica. Rudna Glava es en realidad un yacimiento de hierro (magnetita y pirrotita) asociado a pequeñas mineralizaciones de cobre (principalmente calcopirita), pero que cuenta con una cubierta muy potente (20 m) de *gossan* con malaquita, azurita y cuprita. Las explotaciones prehistóricas se centraron ante todo en la malaquita. El sistema de explotación consiste en el seguimiento de las vetas minerales; es decir, no excavan galerías y pozos, sino que las perforaciones constituyen túneles que no son más que el negativo de la veta. Se ha estimado que extraían unos 250-300 kg de cobre al año. La mina estuvo en explotación unos 700 u 800 años, aunque otras minas serbias continuaron luego proveyendo de cobre a la región.

En la mina polimetálica de Ai Bunar (Stata Zagora, Bulgaria) se beneficiaron materiales secunda-

rios de la zona de oxidación (especialmente malaquita y azurita), que supera los 25 m. También aquí se siguieron las vetas mineralizadas, pero con un sistema de trincheras que tiene por término medio entre 15 y 20 m de longitud, aunque algunas llegan a alcanzar los 110 m. La anchura de las trincheras viene determinada por la potencia de la veta (0,5 a 10 m). Sus profundidades son variables, algunas tienen entre 2 y 4 m de profundidad, mientras que otras alcanzan los 30 m. La escala de la producción es muy superior a la de Rudna Glava. Se ha estimado que se explotaron entre 20.000 y 30.000 Tm de roca que proporcionaron unas 500 Tm de cobre. La evidencia isotópica indica que el cobre de Ai Bunar tuvo una amplia distribución en la zona balcánica y carpática [Fig. 18].

Great Orme (Llandudno, Gran Bretaña), un yacimiento con mineralizaciones de calcopirita, es una de las grandes minas de cobre europeas, aunque muy posterior a las que acabamos de tratar: se laboreó en ella ya en la Edad del Bronce, entre 1.800 y 600 a.C. [Fig. 19]. La explotación iba dirigida fundamentalmente a los niveles de oxidación con malaquitas y azuritas y avanzaba mediante un intrincado sistema de túneles muy estrechos, que resultaban del seguimiento de los filones. Una vez éstos habían sido explotados, el material de desecho se utilizaba para ir rellenando los túneles que se abandonaban. Con el tiempo excavaron una gran labor al

aire libre (el llamado Vivian's Shaft) que constituye una de las explotaciones de superficie más grandes conocidas en la Prehistoria, con una estimación de 28.400 Tm explotadas. A partir de la base y de las paredes de esta labor se excavaron redes de galerías [Fig. 20]. En total, lo conocido hasta ahora alcanza 6,5 km de galerías que llegan a una profundidad de 70 m. El yacimiento de Great Orme tiene la particularidad de que la roca encajante es, no siempre, pero sí de forma general, muy blanda, de manera que es fácil atacarla con instrumentos de hueso y de piedra. Se ha podido constatar que en los casos en que la roca encajante era más dura y compacta, generalmente ya en niveles muy profundos, se utilizó la técnica del *fire-setting*. Además de las extracciones mineras, se han podido identificar áreas para el lavado del mineral que están vinculadas a manantiales de agua y, así mismo, zonas de procesamiento del cobre, con vasos de reducción y escorias. La cantidad de cobre beneficiada en Great Orme fue considerable, hecho que sugiere una distribución geográfica extensa. Hasta ahora no se tenían datos sobre este extremo; sin embargo, últimamente se ha publicado un estudio basado en análisis elementales e isotópicos (Williams, 2015) que sugiere que el cobre de esta mina fue la principal fuente de aprovisionamiento de la Gran Bretaña, especialmente durante el Bronce Medio y que tuvo, incluso, una distribución continental.

Fig. 18. Secciones de trabajos prehistóricos en la labor 4 de la mina de Rudana Glava (1) y en la mina de Ai Bunar (2). Fuente: O'Brien (2015).

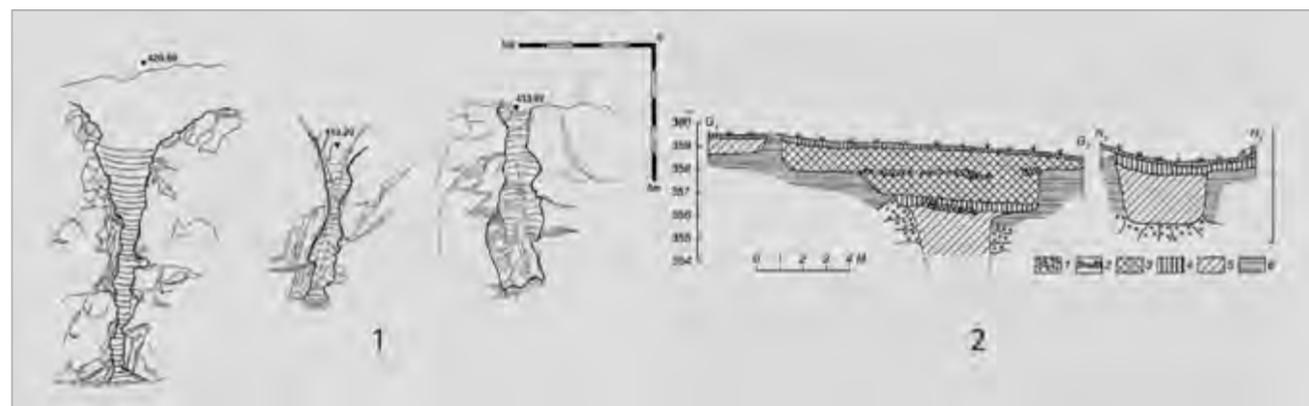


Fig. 19. Galerías de entrada a la mina de Great Orme (Gran Bretaña). Fuente: <<http://www.greatormemines.info/>>.

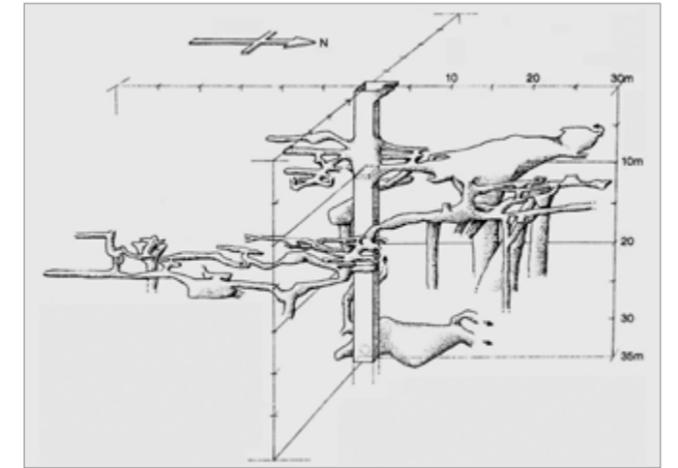


Fig. 20. Imagen tridimensional simplificada de galerías-túnel de Great Orme (Gran Bretaña), excavadas a partir de la cota 10 m del Vivian's Shaft. Fuente: O'Brien (2015).

El área minera de Mitterberg, a unos 50 km de Salzburg (Austria), está situada a altitudes de unos 1.200 m s.n.m. y en un terreno abrupto, por lo que su explotación en época prehistórica constituyó un verdadero desaffo. Es la mayor explotación conocida hasta la fecha a mediados del II milenio a.C. (Bronce Medio e inicios del Bronce Final). El mineral mayoritariamente explotado fue la calcopirita. Las minas de Mitterberg fueron abandonadas al final de la Edad del Bronce, razón por la que se conservaron intactas a través del tiempo hasta que entre 1837 y 1977 se reanudó la actividad minera. Esta reapertura de la mina fue la que dio lugar al descubrimiento de las labores prehistóricas. Inicialmente fueron los oficiales e ingenieros de la explotación contemporánea los que realizaron una descripción técnica de las labores prehistóricas, de la que en buena parte aún depende la investigación, puesto que la actividad extractiva contemporánea ha ocasionado que la mayoría de minas prehistóricas sean hoy inaccesibles. Por los estudios realizados a finales del siglo XIX y principios del XX sabemos que las labores prehistóricas se iniciaron al aire libre y continuaron luego mediante túneles y galerías inclinadas que fueron constituyendo redes complejas que facilitaban la ventilación y el drenaje. Estas redes de galerías alcanzan los

160 m de profundidad en relación al nivel de superficie. Toda el área minera está salpicada por talleres de procesamiento, constituyendo un paisaje arqueológico que indica una actividad de carácter estacional [Fig. 21]. Se ha calculado que entre los siglos XVI y XIII a.C. se explotaron unas 20.000 Tm de cobre que, según estudios recientes (Pernicka *et al.*, 2016), se distribuía a Alemania central, los Alpes y los Cárpatos.

A pesar de que la península ibérica es una de las zonas más mineralizadas de Europa occidental, aún no se ha profundizado como sería deseable en el estudio de la minería prehistórica y, más concretamente, en la del cobre. Hoy por hoy una de las minas mejor conocidas es la de El Áramo (Riosa, Asturias) –situada en la sierra de Riosa en altitudes entre 1.100 y 1.200 m s.n.m.–; la última de las grandes minas europeas a que nos referiremos en este artículo. Fue explotada a partir de mediados del III milenio y se continuó durante todo el Calcolítico y el Bronce Antiguo. Después de un hiato, fue redescubierta en época romana. La explotación prehistórica se centró en la alteración supergénica del yacimiento (cobre nativo, cuprita, tenorita, azurita, malaquita), priorizando ante todo el beneficio de la malaquita y la azurita. La mina está constituida por un laberinto de galerías modernas (s. XIX), romanas y prehistóricas. Corresponde a esta

última fase un sistema de galerías y túneles de casi un kilómetro de longitud y que alcanza los 150 m de profundidad [Fig. 22]. Los túneles están divididos en tramos por pilares que, según parece, en este caso no tienen tanto la función de sostenimiento del techo como de anclajes para facilitar el acceso y el transporte mediante cuerdas, debido a la fuerte inclinación de la mayoría de las perforaciones. En aquellas partes en que la roca encajante era más dura se utilizó la técnica del *fire-setting*. Una vez se había minado un túnel, se rellenaba con el material de desecho del siguiente, de forma que se resolvía, al menos en parte, el problema de la evacuación del desecho a la vez que se consolidaba el terreno. Una práctica que, por lo demás, se documenta en otras minas prehistóricas. Los materiales del instrumental de la mina es el usual en la minería prehistórica europea: piedra, hueso y cuerno. Destacan en El Áramo los útiles de cuerno de ciervo, cuyo estudio ha permitido apreciar que los recogían en primavera, en el marco de una organización estacional de la minería, que se practicaba en verano. Ya hemos ido viendo que la práctica de la minería como actividad estacional es frecuente por toda Europa. La red subterránea se iluminaba con pequeñas antorchas adheridas a las paredes de las galerías con bolas de arcilla (Blas Cortina, 1996).

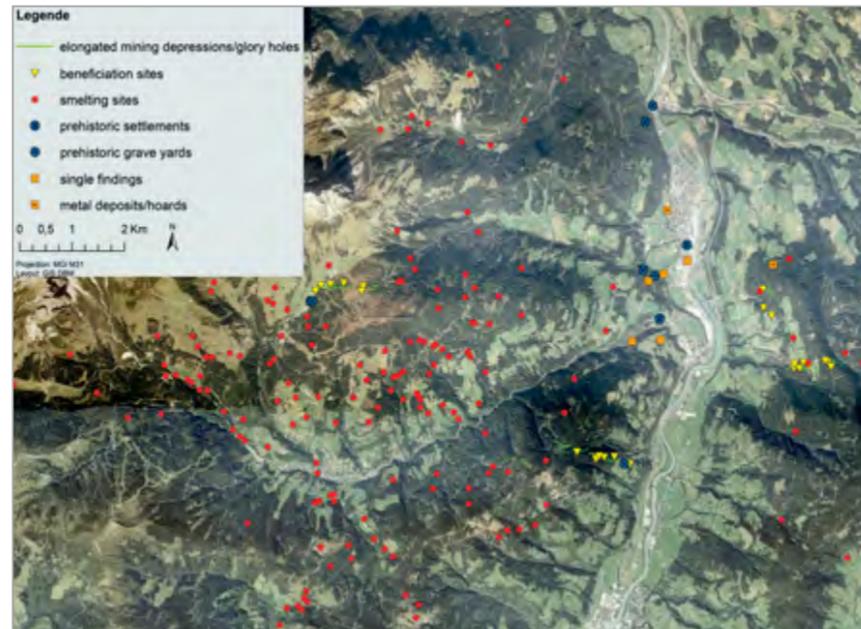


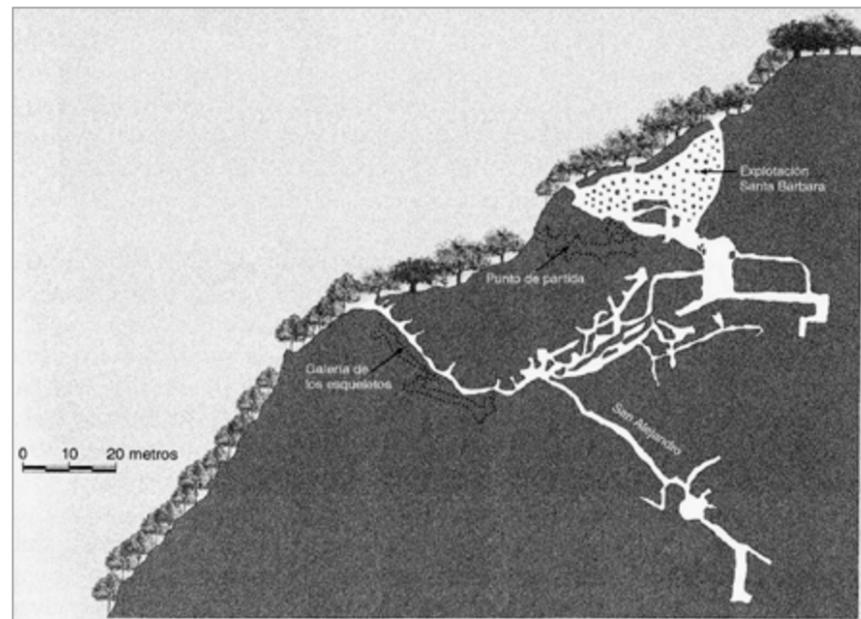
Fig. 21. El campo Mühlbach-Bischofshofen en la región minera de Mitterberg (Austria), con indicación de los filones minerales (líneas verdes), de los lugares donde se beneficiaba (triángulos amarillos) y fundía el mineral (círculos rojos), hábitats y tumbas (círculos azules) y hallazgos aislados (cuadrados naranjas). Se puede observar como los lugares donde se llevan a cabo los tratamientos del mineral extraído (beneficio y fundición) son adyacentes a las zonas de mineralización. Fuente: Pernicka et al. (2016).

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

Si bien las primeras publicaciones sobre la minería prehistórica en Cataluña cuentan con casi un siglo de antigüedad, los conocimientos contrastados que teníamos

sobre la misma hasta hace poco eran extremadamente limitados. No ha sido hasta recientemente que se ha empezado a estudiar con los parámetros de la arqueología contemporánea. El reconocimiento del terreno, la prospección arqueológica, la excavación, los análisis de

Fig. 22. El Áramo, Riosa, Asturias. Proyección vertical de las labores prehistóricas, según M.A. de Blas Cortina. Fuente: O'Brien (2015).



composición del mineral y el metal y las analíticas de isótopos estables de plomo constituyen los instrumentos principales para afrontar el estudio de la minería antigua.

Por nuestra parte, nos hemos centrado en un programa de investigación, en curso desde el año 2000, en las cuencas mineras de la comarca del Priorat. Los satisfactorios resultados obtenidos, entre los cuales el estudio de la mina 'de la Turquesa' que presentamos a continuación, han ido viendo la luz en diversas publicaciones (véase Rafel et al., 2017 y en prensa, donde se puede consultar toda la bibliografía complementaria).

### Localización y situación patrimonial

La mina 'de la Turquesa' (Cornudella de Montsant, Priorat, Tarragona) está emplazada en un cerrillo (438,6 m s.n.m.) situado en el margen derecho del barranco de Arbolí, en el paraje conocido como la Solana dels Andorrans, en terrenos de propiedad privada [Fig. 23]. El Mas de les Moreres, que da a la mina uno de los nombres por los cuales se conoce, forma parte de un caserío por donde pasaba el antiguo camino entre las comarcas del Priorat y el Baix Camp (Amigó y

Fig. 23. Situación general y local de la mina 'de la Turquesa'. Fuente: Projecte Turquesa.

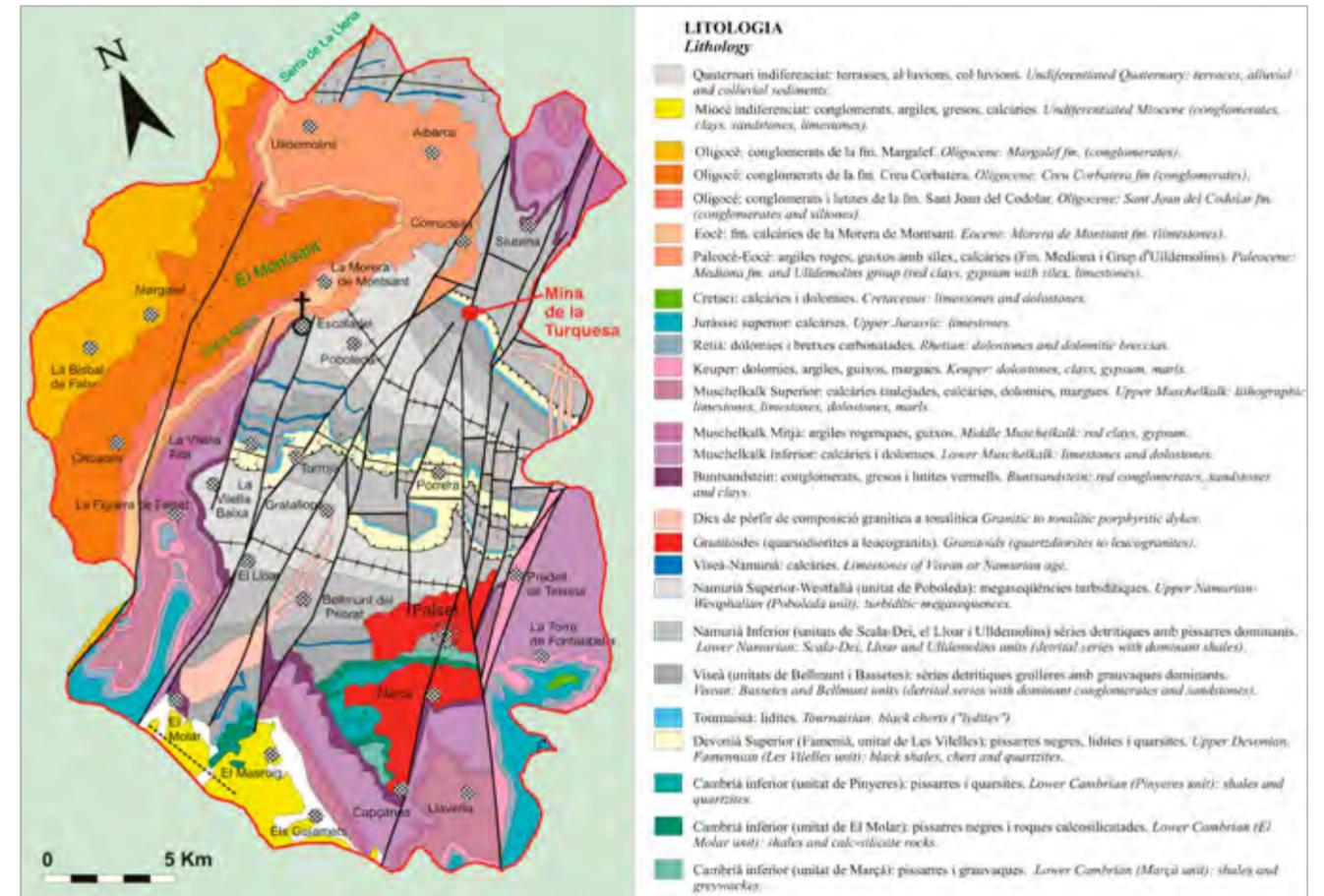
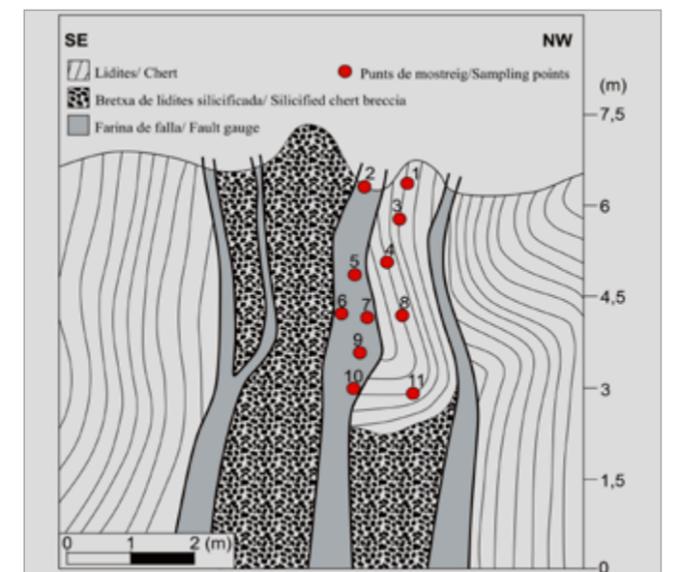


Fig. 24. Geología del Priorat y situación de la mina 'de la Turquesa'. Fuente: Melgarejo y Andreatini, basado en Melgarejo (1987).

Fig. 25. Vista aérea de la zona explotada, desarrollada sobre las liditas del Carbonífero. Remarcar la presencia de una zona mineralizada amplia y muy fracturada, con bandas filonias silíceas. La mineralización fue explorada mediante trincheras (derecha de la imagen) y explotada a partir de pozos. Foto: Projecte Turquesa.



Fig. 26. Corte de la mineralización filoniana de la mina 'de la Turquesa', con la situación de los puntos de muestreo. Fuente: Rafel et al. (en prensa).

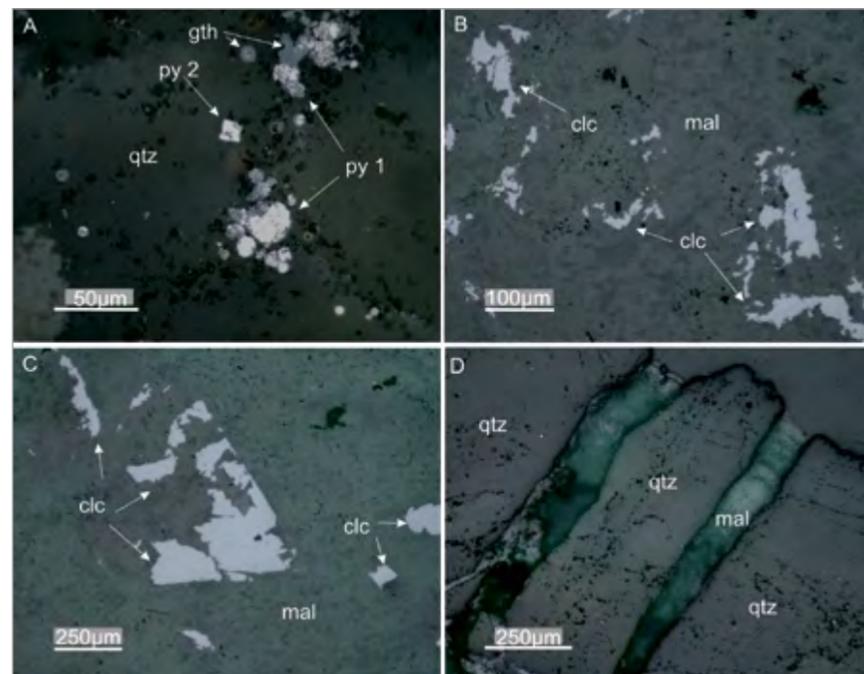


Espasa, 1990). El cerro fue abanclado y reforestado con pinos hace unos 40 años. Además de la explotación prehistórica que hemos podido documentar en el curso de nuestros trabajos, se conservan un gran pozo y una galería que corresponden a explotaciones contemporáneas (Bareche, 1997).

En la actualidad, una vez acabada la última de las campañas de excavación que hemos llevado a cabo en la mina, el yacimiento está catalogado y protegido legalmente y también físicamente mediante una valla. Todo ello ha sido posible con el patrocinio de los propietarios del Mas de les Moreres, los señores Busquets, de la Generalitat de Cataluña y el Ayuntamiento de Cornudella de Montsant.

La mina está catalogada por el Instituto Geológico y Minero de España (BDMIN: Código 0445061). Se reseñan como minerales principales la turquesa y la variscita y como accesorios la calcopirita y la malaquita, cosa que es inexacta, como tendremos ocasión de ver a continuación.

Fig. 27. Imágenes de microscopio óptico en luz reflejada, sin analizador: A) framboides de pirita primaria de la primera generación (py1) dispersos entre el cuarzo (qtz) de las liditas, reemplazados por pirita de segunda generación (py2); ambas generaciones de pirita se ven reemplazadas por goethita (gth); B y C) detalles de la mineralización de enriquecimiento supergénico, con calcocita (clc) parcialmente reemplazada por malaquita (mal); D) vetas de malaquita (mal) y goethita (gth) entre el cuarzo de las liditas. Fuente: Rafel et al. (en prensa).



## Estructura y mineralogía

Desde un punto de vista geológico la mina se sitúa en el sector SW de la Serralada Prelitoral, en una zona donde afloran materiales sedimentarios del Devónico superior y del Carbonífero deformados por la orogenia herciniana e intruidos por granitos sobre los que encontramos series discordantes del Mesozoico, que, a su vez, están cubiertas de forma discordante por series detríticas del Terciario. Por otra parte, el conjunto ha sido compartimentado por fallas de edad alpina [Fig. 24].

La mina 'de la Turquesa' explota una estructura filoniana subvertical que se formó sobre fallas satélites de la falla de Cornudella y que, por lo tanto, tienen una dirección aproximada NNE-SSW. En realidad, se trata de filones de estructura compleja. Encajan en el paquete de liditas de potencia decamétrica del Tournasiense. Estos materiales silíceos, rígidos y muy compactos, tuvieron un comportamiento muy frágil durante los procesos alpinos de fracturación. Es por ello que, más

que de un filón en sentido estricto, se trata de una zona filoniana con un filón principal de grosor decimétrico, aunque de morfología en rosario y por ello de anchura muy variable, y una serie de pequeños filones y bolsadas que cementan las zonas de brecha. La deformación frágil fue muy intensa [Fig. 25] y, por lo tanto, se desarrollaron amplias bandas de harina de falla (*fault gauge*) [Fig. 26]. El conjunto de la zona mineralizada alcanza los 5 m de anchura. Todo ello determina una zona mineralizada amplia y que aflora extensamente. Por esto y por la proximidad a la superficie topográfica se ha podido desarrollar una notable zona de *gossan* y enriquecimiento supergénico.

Dada la importancia del afloramiento y de la zona oxidada no es raro que la mineralización fuera descubierta en superficie ya desde la Prehistoria, así como que se hicieran inicialmente labores de superficie en forma de pozos y trincheras para el reconocimiento y la explotación y, posteriormente, ya en el siglo XIX, galerías en la base del cerro para alcanzar la mineralización primaria en profundidad. Estas últimas operaciones, sin embargo, no cubrieron las expectativas generadas y fueron pronto abandonadas. A la vez, los fluidos hidrotermales que circularon conllevaron silicificaciones de la roca encajante que ocasionaron la recristalización de las liditas.

Como se ha indicado, pues, se reconocen en la mineralización desde la parte más profunda a la más superficial, la mineralización primaria, zonas de enriquecimiento supergénico y zonas de *gossan* [Fig. 26].

## Mineralización primaria

Se pueden observar dos tipos de mineralización primaria. El primero consiste en finas diseminaciones de pirita con textura framboidal dispersas en las liditas. Estos framboides son cuerpos esféricos de menos de 25 micras de diámetro que, a su vez, están compuestos por pequeñas esférulas de pirita de pocas micras de diámetro [pirita 1, Fig. 27 A]. A menudo se ha propuesto una

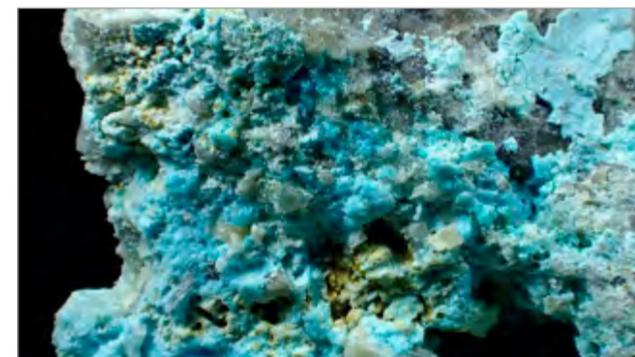


Fig. 28. Mina 'de la Turquesa': muestra con crandallita de color azul cielo a azul verdoso claro. Medidas: 16,1 x 11,6 x 5,4 cm. Foto: Martí Rafel.

génesis bacteriana, lo cual encajaría con el hecho de que aparezcan en liditas que originariamente podrían haber tenido abundante materia orgánica. En cualquier caso, esta generación de pirita se habría formado por procesos contemporáneos a la sedimentación o con la diagénesis primera.

Donde es posible identificarla, la mineralización filoniana primaria consta de pirita, FeS<sub>2</sub>, y calcopirita, FeCuS<sub>2</sub>, muy similar a lo observado en la vecina mina del Barranc Fondo en Cornudella de Montsant. En la 'de la Turquesa' los minerales primarios son de grano fino (menos de 1 mm de diámetro) y constan de

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



calcocita de color gris y brillo metálico en muestra de mano. El grado de reemplazamiento de los sulfuros primarios es muy variable y en profundidad se va perdiendo progresivamente hasta desaparecer.

## Mineralización en *gossan*

La mineralización en forma de *gossan* es la más espectacular del depósito. Ya en superficie se aprecian afloramientos del filón con una bien desarrollada alteración, que implica la sustitución de los sulfuros por paragénesis oxidadas. Los minerales forman usualmente crecimientos en forma de costra de grosor milimétrico que aprovechan diferentes tipos de porosidad, pero especialmente la producida por la disolución de los sulfuros, tapizando pequeñas fracturas y geodas. Aunque raramente, llegan a formarse también de esta forma texturas tipo *boxwork*. A simple vista, no se distinguen formas cristalinas; la mayor parte de los minerales son criptocristalinos, por lo que en muestra de mano tienen brillo mate. Los minerales que se han determinado son: crandallita cuprífera (en la parte más superior del depósito), goethita, malaquita [Fig. 27 D] y azurita (rara y en contacto con los sulfuros primarios).

La pirita 2 reemplaza a menudo a la pirita 1 [Fig. 27 A]. Esta generación se formó en asociación a los procesos de fracturación alpinos.

## Mineralización de enriquecimiento supergénico

La mineralización de enriquecimiento supergénico se forma por el reemplazamiento del anterior por encima del nivel freático y consta de pseudomorfosis de los sulfuros de cobre primarios por parte de

La crandallita, CaAl<sub>3</sub>(PO<sub>4</sub>)(PO<sub>3</sub>OH)(OH)<sub>6</sub>, es el mineral más común en la zona superficial del depósito. Forma costras poco compactas, de color azul pálido a azul verdoso, con brillo mate, fácilmente deleznable y encajadas entre

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



las liditas blanquecinas [Figs. 28 y 29]. Al microscopio de luz transmitida se presenta muy poco cristalina, con colores de interferencia de primer orden. El color azulado anómalo del mineral es debido a la presencia de pequeñas cantidades de Cu, posiblemente en la posición estructural del Ca.

La **malaquita**,  $\text{Cu}_2(\text{CO}_3)(\text{OH})_2$ , es el mineral secundario más abundante. Forma costras finas de color verde característico [Fig. 30]. Su identificación se ha confirmado por rayos X.

La **goethita**,  $\text{Fe}^{3+}\text{O}(\text{OH})$ , forma costras de color pardusco o pátinas de color amarillento sobre las liditas.

En muy pequeña cantidad y ya en límite del método de detección de polvo de rayos X, se han detectado en las costras de crandallita pequeñas cantidades de otros minerales como minerales del grupo de la **alunita**,  $\text{KAl}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ , y la **jarosita**,  $\text{KFe}^{3+}_3(\text{SO}_4)_2(\text{OH})_6$ . Estos minerales se encuentran relacionados con fragmentos alterados de pizarras del Carbonífero o del Devónico. Son criptocristalinos y de color blanco (alunita) u ocre (jarosita). Este último mineral puede ser fácilmente confundido con la goethita, puesto que se forma también por alteración supergénica de pirita y se asocia con ella.

En las zonas superiores hay otros fosfatos, aunque en mucha menor proporción. Han sido identificados por difracción de polvo de rayos X miembros de la serie **goyazita-gorceixita**,  $\text{SrAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$ - $\text{BaAl}_3(\text{PO}_4)(\text{PO}_3\text{OH})(\text{OH})_6$ , pertenecientes al mismo grupo que la crandallita, y **pseudomalaquita**,  $\text{Cu}_5(\text{PO}_4)_2(\text{OH})_4$ , un mineral de color verde muy similar a la malaquita, así como **corkita**,  $\text{PbFe}^{3+}_3(\text{SO}_4)(\text{PO}_4)(\text{OH})_6$ , que puede haberse formado por alteración de galena. Hay, además, pequeñas cantidades de **fluorapatito**,  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3\text{F}$ .

Como veremos más adelante, en una fase analítica diferente, en el estudio arqueometalúrgico, se determinaron además **covellita** y **lithenita**.

## Consideraciones generales en relación a la estructura y la mineralogía

La mineralización de la mina 'de la Turquesa' podría parecer anómala por la presencia de crandallita en cantidades elevadas y por el hecho de que sea azulada, pues por su composición debería ser incolora. Sin embargo, la presencia de crandallita azul a azul verdosa, con apariencia de turquesa (fosfato hidratado de cobre y aluminio), no constituye un hecho único, pues está presente en diversas zonas de alteración de mineralizaciones de cobre de Cataluña. Se han localizado de forma muy abundante en algunos afloramientos adyacentes a las minas neolíticas de variscita de Gavà, en vetas de grosor centimétrico de color azul pálido formadas por alteración supergénica simultánea de pirita, calcopirita y apatito, dispersas por las pizarras del Silúrico (Camprubí *et al.*, 1994 y 2003; Costa *et al.*, 1994).

Se da una situación similar en el caso de la mina de Cornudella de Montsant. Las pizarras del Devónico y las liditas del Carbonífero tienen pequeños niveles de apatito a la vez que diseminaciones de pirita framboidal de grano muy fino y, por lo tanto, químicamente muy reactiva. Además, también hay abundante pirita entre las menas primarias de la mineralización filoniana. Por ello durante los procesos de meteorización se forman fluidos ácidos a partir de la oxidación de la pirita. Además de formar goethita, esta oxidación puede determinar la formación de fluidos descendentes muy oxidantes y ácidos. Dichos fluidos tienen una alta capacidad para reaccionar con los minerales que encuentran a su paso, como por ejemplo los filosilicatos de las pizarras, el apatito de las pizarras y liditas y los sulfuros. Por lo tanto, puede incorporarse anión fosfatado a las soluciones, además del anión sulfato. Ello determina que se puedan formar sulfatos en las zonas de meteorización a causa de la disponibilidad de fósforo. Por otra parte, el aluminio es un elemento altamente inmóvil en la mayor par-

te de medios. Puesto que los fluidos interactúan con las pizarras, ricas en micas, y por lo tanto en aluminio, no es de extrañar que se formen sulfatos y fosfatos de aluminio en las partes más altas del depósito. Esto explicaría la formación de minerales del grupo de la alunita y de la crandallita en las zonas más superficiales; por otra parte, la presencia de corkita o minerales de la serie goyazita-gorceixita se puede explicar por el mismo fenómeno. En este proceso parece que el cobre podría quedar fijado en una estructura, la de la crandallita, que contiene diversas posiciones aptas para retener cationes de radios iónicos diversos. La presencia de corkita se podría explicar por el mismo fenómeno.

La existencia de malaquita merece consideración aparte, especialmente si se tiene en cuenta que la mineralización de cobre encaja en cuarzo y no en carbonatos. La fuente del carbono tiene que ser atmosférica. El hecho de que no se formen sulfatos como brochantita o antlerita puede ser debido a que el anión sulfato no sea tan abundante, porque la cantidad de pirita en la mena original no es muy elevada, o bien al hecho de que la mayoría del sulfato queda fijado en forma de alunita o jarosita en los niveles más altos.

En realidad, la proporción de cobre presente en la crandallita es baja y su explotación, especialmente en la Prehistoria, parece complicada, a pesar de que no se dispone de datos sobre su aprovechamiento. Muy posiblemente la explotación prehistórica iba dirigida a la malaquita, cuya proporción se incrementa a pocos metros de profundidad. Esto explicaría el desarrollo de pozos relativamente profundos, en lugar de trincheras superficiales siguiendo el afloramiento del filón.

La mineralización aparece muy fracturada por efecto de la actividad continuada de las fallas y su meteorización en los niveles superiores ha favorecido el desarrollo de una roca aún más friable. En consecuencia, su explotación con el instrumental no es difícil. La explotación parece

interrumpirse, en cambio, cuando se llega a los niveles más profundos donde empiezan a aparecer los sulfatos primarios, hecho que sugiere que estos minerales ofrecían complicaciones técnicas a los metalúrgicos primitivos.

En síntesis, pues, podemos concluir que la mina 'de la Turquesa' se abrió para explotar menas secundarias de cobre. Estas menas se disponen en las partes superiores de una zona filoniana con pirita y calcopirita primarias que, por alteración meteorítica, dan un *gossan* con crandallita y malaquita, acompañadas de minerales del grupo de la alunita y una zona de enriquecimiento supergénico con calcocita. La paragénesis indicada tiene su origen remoto en la meteorización simultánea de pirita y apatito de las rocas de caja, por un lado, y de la calcopirita del filón, por otro.

## Las excavaciones arqueológicas en la mina

Durante una prospección minera que realizamos en el año 2011 en el

marco del proyecto *Procesos sociales, tecnológicos y económicos en la explotación de recursos minerales del Priorat (Cataluña): una visión diacrónica* (financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad) visitamos la mina con el objetivo de recoger muestras para la realización de análisis de composición y de isótopos de plomo. Durante dicha prospección localizamos en superficie un fragmento de pico de minero de piedra, sin duda prehistórico por su tipología, hecho que nos impulsó a poner en marcha un proyecto de excavación y estudio de la mina. Los trabajos de excavación se llevaron a cabo a lo largo de tres campañas realizadas en los años 2012, 2013 y 2015. Durante la primera campaña de excavación se abrieron cinco cortes con la intención de obtener una visión general de la estructura de la explotación. El relleno de gran parte de estos cortes presentaba niveles con materiales mezclados, tanto de época prehistórica (instrumental minero) como de época contemporánea, un hecho usual en

muchas excavaciones arqueológicas de minas porque, a diferencia de lo que sucedía en la construcción antigua, la actividad minera de cada nueva explotación daña, en mayor o menor medida, a las anteriores. Además, es también habitual el relleno de trabajos de excavación minera con materiales de escombreras de actividades extractivas anteriores (Timberlake, 2003; Hunt Ortiz, 2005; Bouquet *et al.*, 2006; Ambert *et al.*, 2009).

Sin embargo, esta primera campaña de 2012 permitió situar bien el filón principal, cayendo en vertical o en pendiente acusada (unos 45°), localizar y delimitar el gran pozo de extracción contemporáneo que había sido rellenado en los años 60-70 del siglo XX y, lo que es más relevante, permitió constatar la presencia de herramientas de minero prehistóricas entre el material de relleno contemporáneo, hecho que corroboraba fehacientemente la explotación de la mina en la Prehistoria. Con la guía que proporcionaron los cortes realizados en 2012, en el año

Fig. 31. Vista aérea general de la mina 'de la Turquesa'. Puede apreciarse como el filón discurre crestado para hundirse después casi verticalmente. Se aprecia también la labor a cielo abierto contemporánea y se indica el pozo preindustrial L1. Foto: Proyecto Turquesa.



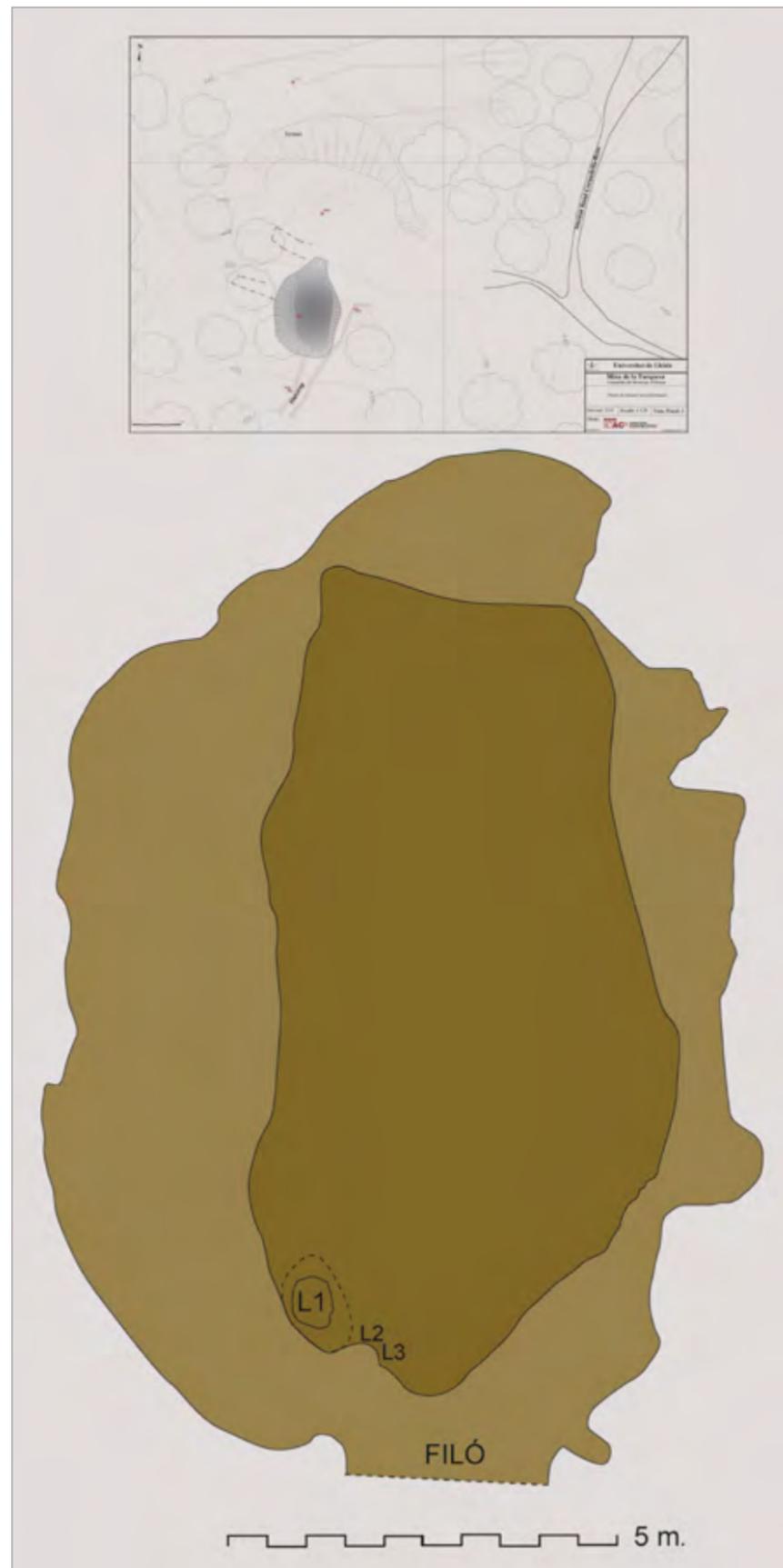


Fig. 32. Topografía del área estudiada y planta de la labor contemporánea, con indicación de las labores preindustriales L1, L2 y L3. Fuente: Projecte Turquesa.



Fig. 33. Sección reconstructiva del pozo L1. Fuente: Projecte Turquesa.

siguiente se pudieron emprender los trabajos para abrir el gran pozo contemporáneo con la ayuda de medios mecánicos y, ya en la campaña siguiente, la de 2015, se procedió a la delimitación en planta de todo el pozo (morfología elipsoidal irregular, aprox. 13 x 9 m) y a su vaciado hasta la profundidad de 6 m. Además, se recuperó un lote significativo de picos y otras herramientas que, junto con los ya localizados en las campañas anteriores, suman un total de 117 herramientas macrolíticas relacionadas con actividades prehistóricas de carácter extractivo. Y, finalmente, los trabajos de esta última campaña permitieron documentar tres labores extractivas (L1, L2 y L3) realizadas con tecnología preindustrial [Figs. 31 y 32].

La explotación L1 [Figs. 33 y 34] es un pozo que sigue la misma orientación que el filón principal y que está situado inmediatamente al oeste de éste, con toda probabilidad para explotar un filón lateral. En sección presenta una de sus paredes laterales destruida a causa de los trabajos de excavación del pozo contemporáneo. Tiene una ligerísima tendencia bicónica, siendo la boca la parte más



Fig. 34. Vista de detalle del pozo L1. Foto: Projecte Turquesa.



Fig. 35. Vista de las labores L1, L2 y L3. Foto: Projecte Turquesa.

ancha. La parte basal, inferior, se conserva entera y mide 1,20 x 0,80 m y tiene una profundidad total de 4,73 m. Fue excavado íntegramente con herramientas no metálicas. En cada una de las tres paredes conservadas hay una hendidura o rebaje, que están opuestos entre sí, de manera que pueden servir de puntos de apoyo para pies y manos en las maniobras de entrada y salida del pozo. En la pared oeste y a unos 30 cm de la base hay un rebaje más grande que podría haber tenido la función de repisa. La excavación del sedimento interior proporcionó restos de mineral de cobre abundantes, microcarbones, mucha piedra pequeña y un fragmento de una herramienta minera de piedra.

A un nivel más profundo se localizaron los restos de explotación que hemos denominado L2 y L3 [Fig. 35]. Ambas tienen una morfología muy similar, redondeada, y presentan unas superficies que se diferencian claramente de las paredes angulosas resultantes tanto de la explotación moderna como de la

exfoliación de la roca encajante. El examen visual nos sugirió que podía tratarse de restos de la aplicación de la técnica llamada de *fire-setting* para facilitar la extracción del mineral, extremo que, como veremos más adelante, ha confirmado el estudio de termoluminiscencia.

### Termoluminiscencia (TL)

Como ya hemos comentado en las líneas precedentes, el *fire-setting* es una de las técnicas más antiguas documentadas para fisurar rocas duras en las tareas de explotación minera. Los ataques con este método suelen dejar unas marcas en la roca de una morfología muy particular, identificables, a título de hipótesis, a simple vista. Los restos de explotación L2 y L3 de la mina de 'de la Turquesa' parecen indicar la aplicación de esta técnica. Por este motivo se llevó a término un estudio mediante termoluminiscencia, una técnica que permite determinar si se ha aplicado calor, así como el tiempo transcurrido desde la última aplicación de calor o de exposición

al sol (Ancel y Py, 2008; Py y Ancel, 2006; Weisgerber y Willies, 2000; Aitken, 1999).

El objetivo del estudio ha sido identificar estas posibles evidencias de *fire-setting* en los granos de cuarzo extraídos de los materiales muestreados de L1, L2 y L3 utilizando protocolos TL, que se han complementado con análisis de difracción de rayos X (XRD). La metodología se ha basado en el trabajo de Castaing *et al.* (2005), pero aplicando un protocolo algo más complejo aplicado a granos de cuarzo en vez de un protocolo simple aplicado a muestras polimineraleas. Normalmente las mediciones de TL aplicadas al cuarzo permiten distinguir entre muestras no calentadas y muestras calentadas a temperaturas superiores a 300 °C, que presentan una menor intensidad de señal TL. Estos estudios deben complementarse con la caracterización mineralógica mediante difracción de rayos X que permite obtener la asociación mineralógica, con especial énfasis en la proporción de cuarzo. Además,

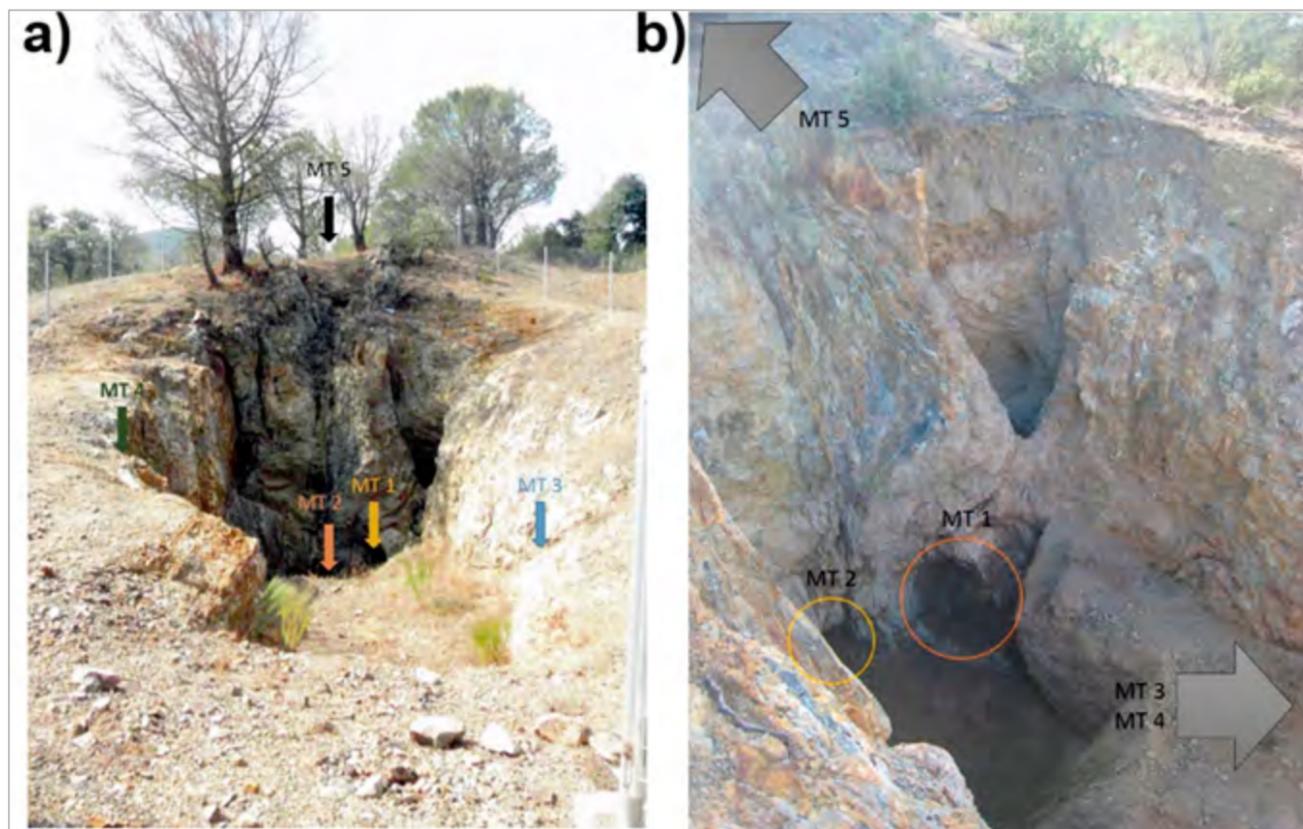


Fig. 36. Muestreo por termoluminiscencia: a) visión global con los puntos de muestreo MT2, MT3, MT4 y MT5; b) interior de las explotaciones; c) detalle de las labores L2 y L3 con la localización del muestreo. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

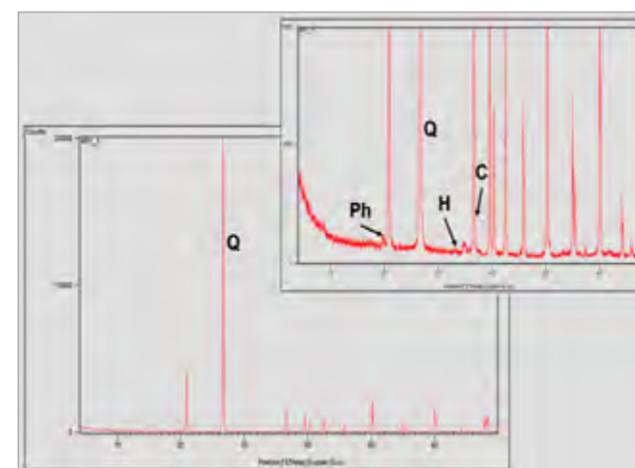


Fig. 37. Composición mineralógica del fragmento de roca MT1\_1 del pozo MT1, obtenida con XRD: PH) filosilicatos; Q) cuarzo; H) hematites; C) cuprita. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

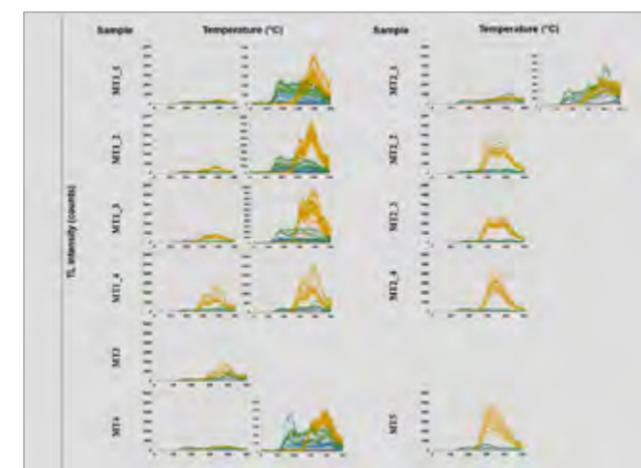


Fig. 38. Secuencia de las mediciones TL. Mediciones hechas con filtros de detección BG25 + HA30 en lector Risø DA-20. Irradiación con una fuente beta con una dosis de 0,104 Gy/s. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

el análisis XRD permite la identificación de fases mineralógicas indicativas de las temperaturas de cocción alcanzadas. Tomamos diferentes muestras, siguiendo el protocolo habitual en dataciones por luminiscencia (Rodrigues dos Santos, 2015) tanto de las extracciones L1, L2 y L3 como de otros puntos de la explotación, estos últimos con el objetivo de contar con muestras de contraste [Fig. 36]. Se utilizaron las mediciones TL para detectar el calentamiento eventual de granos de cuarzo gruesos extraídos de fragmentos de rocas y sedimentos en base a los siguientes supuestos de partida: (i) en ausencia de calefacción, las señales fuertes obtenidas

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



corresponden a las señales geológicas; (ii) las intensidades de la señal se reducen sustancialmente en los materiales sometidos a temperaturas superiores a 300 °C.

Los resultados de los análisis XRD revelan que el cuarzo es el principal mineral en todas las muestras. Se asocia a proporciones menores de filosilicatos y trazas de hematites y cuprita [Fig. 37]. La muestra MT2\_1 tiene una mayor proporción de filosilicatos (como se esperaba) y trazas de azurita. La muestra MT5 tiene también residuos de azurita. Los resultados XRD confirman que las proporciones de cuarzo en muestra son compatibles con las mediciones TL. No se observaron fases minerales resultantes de temperaturas elevadas; no obstante, no se puede excluir el uso del fuego, especialmente porque, por una parte, dicha incidencia puede estar relacionada con intervalos de temperaturas bajas, no detectadas en las asociaciones mineralógicas observadas, y, por otra parte, porque pudo producirse un calentamiento anisótropo de la roca (temperaturas muy altas en la superficie calefactada y una rápida reducción en el interior de la roca) y la eliminación de la parte calentada durante el proceso de minado ulterior. Otro aspecto a tener en consideración es que el fuego acostumbra a debilitar fácilmente a las rocas ricas en cuarzo, incluso con

temperaturas por debajo de 600 °C (Weisgerber y Willies, 2000). En estas condiciones los cambios producidos en el cuarzo son reversibles y, por lo tanto, los patrones XRD no reflejan los procesos de calefacción a baja temperatura.

Por lo que respecta a las mediciones de luminiscencia, se obtuvo una fracción de granos gruesos de cuarzo enriquecidos (EQZCG, *enriched quartz coarse grains*) mediante disgregación manual realizada en mortero de ágata. En las muestras (MT1) tomadas en la labor L2 las señales TLn del EQZCG [Fig. 38, en amarillo] tienen una intensidad más alta que las TLR (en gris, azul y verde). Sin embargo, las diferencias de intensidad entre señales naturales y regeneradoras, en particular la señal TLR800 (en verde), disminuyen de la muestra MT1\_4 a la muestra MT1\_1 a causa de una disminución de la intensidad de las señales TLn. La menor intensidad de señales TLn de MT1\_2 y, aún más claramente, en el caso de MT1\_1, apunta a una eliminación parcial de la señal geológica, quizás como consecuencia de un episodio de calentamiento. Dado que las muestras MT1 (1 y 2) recogidas ligeramente lejos del centro de la labor no son las más enriquecidas en cobre, podemos suponer que corresponden a los restos mineros de la labor L2 sometidos a *fire-setting*. Hay que tener en consideración que

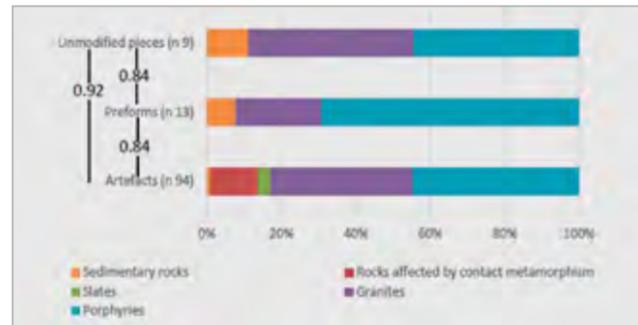


Fig. 40. Frecuencias absolutas del conjunto de ítems recuperados en la mina 'de la Turquesa' y vinculados a la producción de herramientas mineras. También se indican los índices de correlación ( $r^2$ ) entre los tres grupos. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

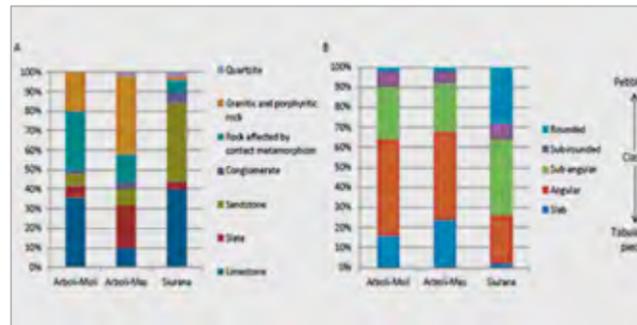


Fig. 41. Frecuencias, en porcentajes, de las litologías (A) y el grado de angulosidad (B) de los recuentos realizados en los depósitos de los ríos Siurana y Arbolí. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

es plausible suponer que en la actualidad solo se conservan ocurrencias del material sometido a temperaturas altas de forma residual, debido a las propias actividades mineras prehistóricas.

Comparando las señales TLn del EQZCG a partir de fragmentos de roca recogidos en la labor L3 (muestras MT2) con las TLr respectivas, vemos que las primeras son más intensas que las segundas, hecho que indica que el cuarzo analizado conserva la mayor parte de la señal geológica no modificada. El EQZCG extraído de MT2\_1 tiene la intensidad de señal más baja. La señal geológica fue blanqueada por la luz y/o la exposición al calor, como consecuencia de diversos procesos geológicos, geomorfológicos y antropógenos que se produjeron desde la formación de las rocas hasta la deposición de los sedimentos.

### El instrumental lítico de minero

Después de la eliminación de toda la señal geológica, la intensidad que podemos medir por las técnicas de luminiscencia de la señal natural en el sedimento es proporcional al tiempo desde que se acumuló este sedimento en MT2 (L3) y puede corresponder al final de las últimas actividades mineras. El EQZCG extraído de las muestras MT3 y MT4 tiene una señal TLn más intensa que TLr, aunque menos intensa de lo que se esperaba, apuntando a una pérdida parcial de la señal geológica. La disminución de la señal de TL por pérdida de aportación geológica puede estar causada por actividades de minería recientes. La muestra MT5

tiene la mayor intensidad de señal TLn, hecho que refleja la preservación de la señal geológica y la ausencia de evidencias de actividades mineras.

En definitiva, pues, el estudio TL revela algunas evidencias compatibles con la aplicación de *fire-setting* en la mina 'de la Turquesa' en época preindustrial. Por otra parte, el estudio demuestra la capacidad de la termoluminiscencia para identificar el uso del fuego en contextos de explotación minera y para evaluar las dataciones absolutas de las muestras. Los resultados obtenidos a partir de mediciones de TL han permitido concluir que las muestras tomadas en la labor L2 [Fig. 39] estuvieron probablemente sometidas al fuego.

La mina 'de la Turquesa' es uno de los poquísimos yacimientos prehistóricos catalanes que han proporcionado datos sobre el utillaje lítico para la explotación de minerales metálicos. Muy recientemente, en el marco del mismo proyecto de investigación que nos ocupa, estudiamos el conjunto lítico de la vecina mina del Bronce Antiguo y Medio (2.300-1.300 a.C.) de la Solana del Bepo de Ulldemolins (Rafel *et al.*, 2016; Delgado-Raack y Gómez-Gras, 2017). La condición singular de ambas minas, su proximidad y un contexto geomorfológico coincidente favorecen la comparación de la tecnología de los dos conjuntos.

De las 117 piezas líticas recuperadas en el curso de las diferentes campañas de excavación llevadas a cabo en la mina 'de la Turquesa', 76 son picos, 11 percutores, 7 picos-percutores, 13 preformas, 9 soportes susceptibles de ser utilizados para la producción de piezas y 1 un pequeño nódulo fisurado.

### Materias primas

Los litotipos más explotados lo constituyen las rocas porfídicas y graníticas [Fig. 40]. En segundo lugar aparecen las rocas más o menos afectadas por metamorfismo de contacto o retrogradadas. Las areniscas y pizarras –que son abundantes en la zona, pero que usualmente no presentan afectación por metamorfismo de contacto– representan una minoría. Es necesario recordar que los procesos de cornificación y dureza en relación a la resistencia mecánica del material durante su uso, mientras que la ausencia de ella las convierte en rocas poco resistentes (Risch y Martínez, 2008; Delgado-Raack y Gómez-Gras, 2017).

La mayoría de las piezas parten de clastos, es decir, de soportes poco rodados, que presentan ángulos ligeramente redondeados. De los 94 artefactos que se han podido identificar entre el total de 117 elementos macrolíticos documentados, el 81,92% fueron manufacturados a partir de clastos, mientras que el 12,77% lo fueron a partir de cantos; en el 5,31% restante no fue posible la identificación de este aspecto, ya



Fig. 42. A) Vista desde el fondo del valle hacia el Mas de les Moreres y el promontorio donde se ubica la mina; B) vista de las terrazas con bancales con clastos y piedras de los depósitos de L'Arbolí; C) uno de los dos lugares de conteo en L'Arbolí; D) lugar de conteo en el Siurana; F y G) clastos de porfido hallados en L'Arbolí y que presentan morfología similar a picos de la mina 'de la Turquesa'. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

fuera por alteración o por modificación antrópica. Sin duda el o los puntos de recogida de las materias primas debieron estar relativamente cerca de los afloramientos primarios correspondientes. En el entorno del yacimiento hay afloramientos carboníferos de diversas litologías (pizarras, areniscas y materiales afectados por metamorfismo de contacto, pórfidos ácidos, granitos alcalinos y granodioritas). La cuenca del Siurana, en la cual se ubica el yacimiento, recibe las aguas del Montsant y del Arbolí y ambos transportan muchas materias primas provenientes de las sierras vecinas [Fig. 40]. Es probable, pues, que las materias primas utilizadas para el instrumental minero documentado en la mina sean de origen local.

Con el fin de comprobar este extremo se plantearon diversos recuentos para caracterizar litológicamente y morfológicamente los depósitos secundarios más próximos al yacimiento (Cailleux, 1951). Las frecuencias litológicas de dichos

recuentos han puesto de manifiesto una presencia importante en el río Arbolí [Fig. 41 A] de rocas graníticas (granitos y pórfidos) y rocas más o menos afectadas por metamorfismo de contacto (pizarras, areniscas). También están bien representadas las calcáreas, que, sin embargo, no fueron utilizadas como materia prima [Fig. 40]. Los depósitos del río Siurana presentan calcáreas y areniscas –que abundan en los afloramientos tanto del tramo superior (areniscas y calcáreas de facies Muschelkalk) como del inferior del curso del río (areniscas paleozoicas)– como litotipos predominantes. También están presentes las rocas graníticas y las que están afectadas por metamorfismo de contacto, si bien de forma residual.

El índice de correlación más elevado es el que hay entre los materiales de la mina ‘de la Turquesa’ y el punto de recuento Arbolí-Mas (índice de correlación 0,885), que, además, es el más cercano a la mina. Por otra parte, el alto porcentaje de soportes angulosos [Fig. 41 B] indica

que sus depósitos se hallan cerca de los afloramientos primarios. Por el contrario, en el río Siurana se forman depósitos más maduros desde el punto de vista geomorfológico. En consecuencia, también desde este punto de vista, la cuenca del Arbolí es más afín al patrón que hemos observado en el yacimiento ‘de la Turquesa’. De hecho, los materiales líticos que se observan aún hoy, muchos de ellos reaprovechados en muros de bancales, indican la riqueza cuantitativa y cualitativa de los mismos. El hecho de que el instrumental lítico de la mina presente en general un grado de transformación bajo permite apreciar la morfología original de los soportes, de modo que podemos concluir que las formas existentes originariamente en los depósitos fluviales del Arbolí determinaron la variabilidad morfológica de los artefactos utilizados en la explotación minera prehistórica [Fig. 42 E y F].

Así pues, el origen de las materias primas explotadas para la producción de herramientas líticas de mi-

Fig. 43. Esquema simplificado de los cinco tipos morfológicos de herramientas documentadas en el conjunto de la mina ‘de la Turquesa’ y frecuencia relativa de superficies activas presentes en cada uno de ellos. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

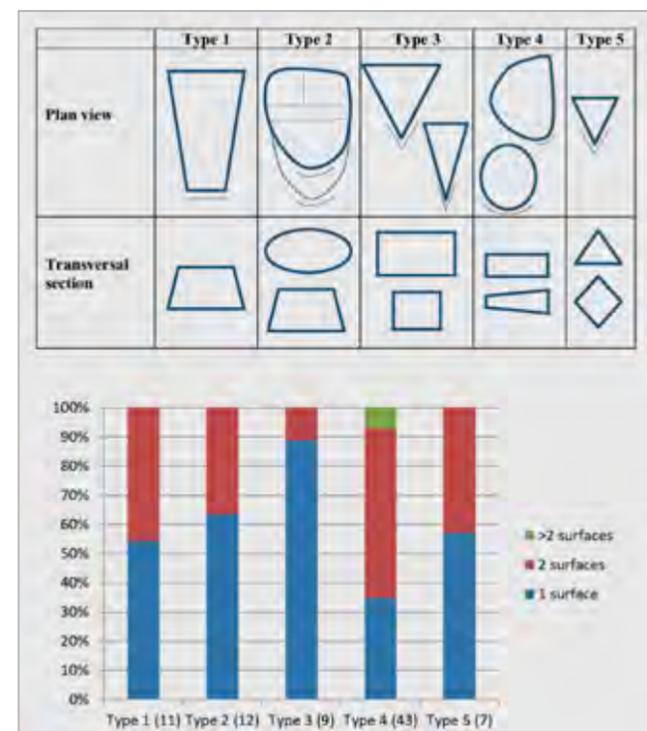


Fig. 44. Herramientas tipo 1. Izquierda: pico de granodiorita (MT-26), 220 x 140 x 86 mm, 3.322 g; derecha: pico de granodiorita (MT-66), 375 x 130 x 118 mm, 8.700 g. Fotos: Projecte Turquesa.



Fig. 45. Herramientas tipo 2. Izquierda: pico de pórfido (MT-24), 239 x 139 x 112 mm, 4.663 g; derecha: percutor de granodiorita (MT-54), 163 x 139 x 105 mm, 2.960 g. Fotos: Projecte Turquesa.



Fig. 46. Herramientas tipo 3. Izquierda: pico de granodiorita (MT-16), 247 x 86 x 72 mm, 1.644 g; derecha: percutor de pórfido (MT-67), 144 x 144 x 81 mm, 2.604 g. Fotos: Projecte Turquesa.

nero es local. Proviene del mismo valle del Mas de les Moreres, de las formaciones del otro lado del Arbolí. Se utilizaron prioritariamente rocas graníticas y porfídicas, siendo estas últimas algo más abundantes que las primeras. Los pórfidos se limitan al sur del valle, más allá del río y la carretera C-242, cerca del pico de Lo Molló, donde se observa un dique porfídico ácido. En la mina de la Solana del Bepo, próxima a diques de pórfido granodiorítico, también se documentó un uso preferente de

este tipo de roca. El resto de rocas de la mina ‘de la Turquesa’, es decir, las granodioritas y los granitos alcalinos y las rocas retrógradas, aparecen en las inmediaciones del dique porfídico, en cotas más próximas al río Arbolí. Se extienden más allá del valle en dirección sudeste, donde son más abundantes.

Con el fin de manufacturar las herramientas se seleccionaron soportes suficientemente rodados para ofrecer resistencia a los impactos (Risch, 1995; Schneider, 2002).

Debido al hecho de que, como veremos a continuación, las herramientas presentaban en general un nivel bajo de transformación, podemos observar que muchos de estos cantos conservaban una cierta angulosidad en sus bordes, que a menudo se aprovechaban como frente de trabajo.

#### Proceso de elaboración

El conjunto del instrumental lítico documentado en la mina está en buen estado de conservación.

Fig. 47. Herramientas tipo 4. Izquierda: pico de roca afectada por metamorfismo de contacto (MT-30), 188 x 132 x 80 mm, 2.409 g; derecha: pico de granodiorita (MT-77), 132 x 84 x 58 mm, 732 g. Fotos: Projecte Turquesa.



Fig. 48. Herramientas tipo 5. Izquierda: pico de granodiorita (MT-93), 95 x 82 x 66 mm, 492 g; derecha: percutor de granodiorita (MT-46), 108 x 100 x 87 mm, 1.172 g. Fotos: Projecte Turquesa.



El 82,1% de los ítems que lo componen se conserva íntegramente, especialmente picos, percutores y picos-percutores. Sin embargo, muchos de ellos están fracturados y reutilizados.

En general, las herramientas tienen una factura tosca y una modificación muy limitada del soporte. El índice de transformación para los picos y percutores es muy bajo (0,2), sobre todo si lo comparamos con la vecina mina de la Solana del Bepo, donde se documentan índices de entre 0,6 y 0,8 (Delgado-Raack y Gómez-Gras, 2017). Muchas veces los frentes activos aprovechan angulosidades o protuberancias naturales del clasto de origen, mientras que en una minoría de casos el frente se conforma mediante golpes de talla simple. Por otra parte, cabe reseñar que solo un 15,29% de las herramientas conservadas en su integridad tienen ranuras o muescas para poderlas enmangar.

Desde un punto de vista morfológico, hemos podido determinar cinco tipos de herramientas [Fig. 43]:

El tipo 1 (13 piezas) incluye artefactos de rocas graníticas (granitos y pórfidos) de morfología trapezoidal con un extremo inferior más estrecho donde acostumbra a situarse el frente de trabajo o activo. La mayoría de los artefactos más grandes corresponde a este tipo. No presentan ranuras ni muescas para su enmangue, aunque, a pesar de ello, no podemos excluir que se enmangaran [Fig. 44].

El tipo 2 (15 piezas) corresponde a los ejemplares que presentan dispositivos para enmangar, ya sean ranuras o muescas [Fig. 45]. La mayoría de ellos son graníticos, aunque también hay algunos de rocas retrógradas. Originalmente eran piezas de grandes dimensiones. Se trata del tipo con un grado más alto de transformación; de hecho, el índice general de transformación del yacimiento se concentra casi exclusivamente en este tipo que, por otra parte, corresponde al que se documentó mayoritariamente en la Solana del Bepo (Delgado-Raack y Gómez-Gras, 2017).

El tipo 3 (9 piezas), de rocas graníticas y pizarras, tiene planta triangular y sección cuadrangular [Fig. 46]. Ello lo convierte en un instrumento de proporciones más masivas que el resto.

El tipo 4 constituye el grupo más numeroso (48 piezas) y agrupa ejemplares de planta semicircular o, con menor frecuencia, circular. Todos ellos son de sección aplanada [Fig. 47]. En su mayor parte son de rocas graníticas o retrógradas. Diferentes evidencias nos llevan a suponer que las herramientas de este tipo no se enmangaban.

Y, finalmente, el tipo 5 (9 piezas) está constituido por instrumentos de planta triangular, generalmente pequeños, que probablemente sean los extremos puntiagudos de picos que se fracturaron y de los cuales se reaprovecharon los fragmentos [Fig. 48]. Naturalmente, no se enmanga-

ban y posiblemente fueron utilizados como cuñas durante el proceso de extracción del mineral.

### Consideraciones finales

En síntesis, pues, tenemos una serie de picos y percutores que constituyeron las herramientas esenciales de la explotación de la mina que estudiamos. Los primeros se utilizaron para la extracción directa, mientras que los segundos se utilizaban para triturar el mineral una vez extraído de la veta con la finalidad de separar al máximo posible el mineral de la roca encajante.

Llama la atención la gran diferencia del conjunto de herramientas de este yacimiento en relación con lo documentado en la vecina mina de la Solana del Bepo. La coexistencia de instrumentos poco y muy elaborados en una misma mina tiene paralelos en otras explotaciones de

Fig. 49. Análisis elementales pXRF de mineral de cobre de la mina 'de la Turquesa' (peso en %). Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

Análisis	Depósito	Referencia	Fe	Ni	Cu	Zn	As	Ag	Sn	Sb	Pb	Bi	LE	Ratio As/Cu (%)
PA20591	Cu dep.		0,7	n.d.	99	n.d.	0,27	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	0,3
PA20592	Azul Cu dep.		14	n.d.	18,3	n.d.	0,79	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	66,9	4,3
PA20593	Azul Cu dep.		6,72	0,1	85,9	n.d.	7,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	8,5
PA20594	Verde Cu dep.		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	Verde Cu dep.		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	Azul Cu dep.		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	Azul Cu dep.		7,1	n.d.	90,5	n.d.	2,37	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	-	2,6
PA24869	Cu dep.	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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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	Azul Cu dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 7	3,81	n.d.	5,22	n.d.	0,19	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	90,7	3,6
PA22867	Cu dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 dep.	Muestra 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 ?	Muestra 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: cuarzo bajo	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: cuarzo bajo	29,87 (23) %
	Fase 2: calcopirita	42,61 (29) %
	Fase 3: goethita	21,70 (40) %
	Fase 4: covellita	0,79 (43) %

Fig. 50. Análisis XRD de minerales de la mina 'de la Turquesa'. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

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. Análisis MC-ICP-MS de isótopos de plomo de minerales de la mina 'de la Turquesa'. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

cobre prehistóricas europeas (ver, por ejemplo, Stöllner *et al.*, 2004). Volveremos a referirnos a esta cuestión cuando tratemos de la cronología de la mina.

### El estudio arqueometalúrgico

El mineral de la mina 'de la Turquesa' se ha centrado en tres tipos de caracterización. Se han llevado a cabo análisis elementales con un equipo de espectrometría de fluorescencia de rayos X (pXRF) con el objetivo de identificar el tipo de metal que se explotaba. Algunas de las muestras se identificaron mediante difracción de rayos X y, finalmente, se realizó una caracterización mediante isótopos de plomo con el objetivo de definir el campo isotópico de la mina y poder realizar estudios comparativos con materiales arqueológicos, de tal manera que

pudiéramos identificar objetos prehistóricos manufacturados con el mineral de cobre de la mina.

### Caracterización elemental

Las muestras obtenidas entre los años 2011 y 2015 fueron analizadas con el espectrómetro INNOV-X, modelo Alpha (Museo Arqueológico Nacional, Madrid). En la figura 49 se presentan los valores obtenidos en % de peso. El espectrómetro permite identificar de manera general los elementos ligeros (LE) presentes en la muestra, lo que constituye un parámetro para comprobar su calidad. Algunas tienen un contenido en mineral de cobre muy pobre, motivado por el hecho de que la mayor parte de muestras proceden de materiales descartados durante el proceso de explotación. Además del cobre, los elementos que se detectan en todas las muestras son el hierro y el

arsénico. En 8 de las 25 muestras analizadas se detecta níquel y en 2 plomo, en proporciones muy bajas. Las proporciones de arsénico son variables; en algunas muestras se detectan proporciones As/Cu superiores al 5% que serían susceptibles de producir cobres arsenicales o metales con impurezas altas de este elemento. La presencia de arsénico es el rasgo más importante que diferencia el mineral de la mina 'de la Turquesa' del de otras minas de los alrededores, en el entorno del Montsant. Esta presencia ha sido confirmada por análisis de Micro-Fluorescencia de Rayos X ( $\mu$ -XRF) realizadas en el CENIM-CSIC con el equipo FISHERCOPE X-RAY, modelo XUL.

### Análisis mineralógico

Las muestras obtenidas en el curso de la excavación se analizaron en el CENIM-CSIC con un difracto-

Fig. 52. Diagrama comparativo de los isótopos 206Pb/204Pb de la mina 'de la Turquesa' y de otras minas de los alrededores. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).

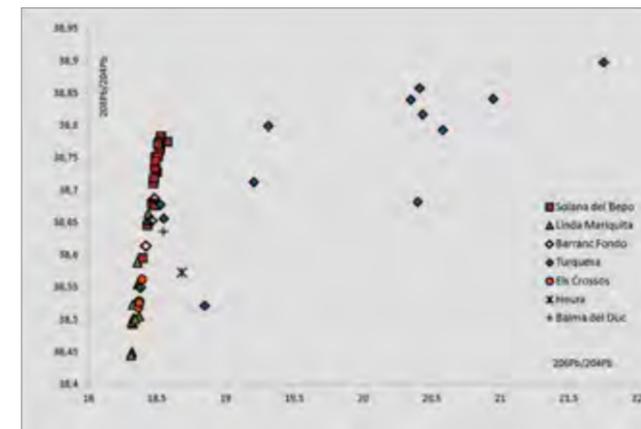
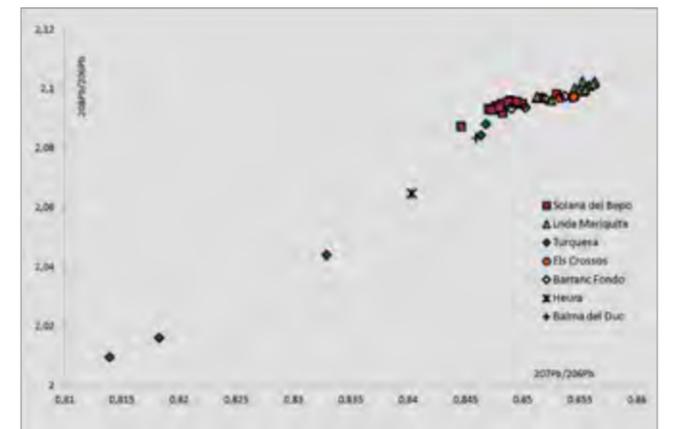


Fig. 53. Diagrama comparativo de los isótopos 207Pb/206Pb y 208Pb/206Pb de la mina 'de la Turquesa' y de otras minas de los alrededores. Fuente: Rafel *et al.* (en prensa).



tro de Rayos X Bruker AXS, modelo D8 Advance, equipado con un tubo de Co y una óptica de espejo Goebel, para obtener un haz paralelo y monocromático. Las condiciones de trabajo utilizadas fueron 40 kV y 30 mA. Tanto el tiempo de medición como el paso incremental se optimizaron para obtener difractogramas de alta calidad, con estadística de recuento apropiada, picos de difracción agudos y con buena resolución y, además, se garantizó la detección de fases minoritarias. Los ensayos se llevaron a cabo sobre un rango de 10 a 110° en 2 theta y un paso de 0,0015°. El ajuste de los difractogramas se ha hecho con el método Rietveld.

En cuanto a los minerales de cobre, se han identificado, además de malaquita, libethenita,  $\text{Cu}_2(\text{PO}_4)(\text{OH})$ , calcopirita,  $\text{CuFeS}_2$ , y covellita,  $\text{CuS}$ ; los dos últimos reflejan la mineralización primaria.

El mineral azul-verde característico de la mina 'de la Turquesa' fue sometido a analítica XRD (Servicio de Rayos X de la Universidad del País Vasco, difractómetro PANalytical Cubi X3, con tubo de cobre, goniómetro vertical –geometría Bagg-Brentano–, ranuras programables, intercambiador automático de muestras, filtro de níquel y detector PixCel; condiciones de

medición 40 KV y 40 mA, barrido entre 5 y 70 en 2 theta). Se trata de crandallita.

### Caracterización por isótopos de plomo

Los resultados de las 12 muestras analizadas en los Servicios de Geocronología de la Universidad del País Vasco [Fig. 51] ofrecen una amplia distribución con valores radiogénicos que alcanzan hasta 1,78 en la ratio  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$  o 21,75 en la ratio  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$  [Fig. 52]. La distribución se puede distribuir en dos grupos y, probablemente, la zona intermedia se podrá cubrir con nuevos análisis, dado que el estudio geológico no indica indicios de una doble génesis de la mineralización.

Estos valores radiogénicos permiten diferenciar el campo isotópico de la mina 'de la Turquesa' del resto de minas del área del Montsant, que presentan zonas diferenciadas con el campo que ocupa la 'de la Turquesa', pero con algunos solapamientos parciales [Figs. 52 y 53]. Por otra parte, el campo isotópico de la mina "Linda Mariquita" (El Molar), en el área Molar-Bellmunt-Falset (Montero-Ruiz *et al.*, 2009; Montero-Ruiz, 2017), también se diferencia del de la mina 'de la Turquesa', aunque tiene algún so-

lapamiento con el de la Solana del Bepo. Desde el punto de vista de la composición, estas diferencias se concretan en la presencia de arsénico en la mina 'de la Turquesa', en una mineralización de cobre-hierro con un poco de plomo en el resto de minas del Montsant y en minerales del grupo de la tennantita, con arsénico, antimonio y plata en la "Linda Mariquita" (Montero-Ruiz *et al.*, 2012).

Sin embargo, es más complicado diferenciar esta mineralización radiogénica de otras minas prehistóricas de rasgos similares, especialmente de las minas asturleonesas de El Áramo (Huerga-Suárez *et al.*, 2012) y El Milagro (Huerga-Suárez *et al.*, 2014). El área de distribución es bastante completa, excepto en una pequeña zona donde la mina 'de la Turquesa' presenta valores superiores a 0,835 (ratio  $^{208}\text{Pb}/^{206}\text{Pb}$ ) o inferiores a 18,80 (ratio  $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ ). Es en esta zona exclusiva de este yacimiento donde se sitúan el punzón de cobre arsenical de la Coveta de l'Heura (Ulldemolins) y el vaso de reducción de la Balma del Duc (Montblanc), que ya habíamos señalado como manufacturados con metal proveniente de la mina 'de la Turquesa' (Rafel *et al.*, 2016; Montero-Ruiz, 2017). Dicho de otro

modo, tenemos una cierta seguridad de que el cobre de estas piezas no proviene de las minas asturleonesas.

### A MODO DE CONCLUSIÓN

Los elementos con los que contamos para situar cronológicamente la mina 'de la Turquesa' son, en síntesis, los siguientes.

- La evidencia material de las herramientas líticas de minero (básicamente picos y percutores), que se enmarcan claramente en un horizonte prehistórico. El conjunto de instrumental lítico 'de la Turquesa' se puede interpretar como el resultado de dos subconjuntos diferentes, uno más antiguo y rudimentario desde el punto de vista de su factura y otro más moderno y de manufactura más compleja, o bien como el resultado de la coexistencia de dos tradiciones diferentes. Los picos más intensamente modificados, aquellos que tienen un dispositivo de empuje en T, no se documentan en contextos anteriores a la Edad del Bronce, como sucede en la Solana del Bepo, donde contamos con dataciones de primera mitad del II milenio a.C., es decir, del Bronce Antiguo-Medio (Rafel *et al.*, 2017; Rafel *et al.*, en prensa). Pero, por el contrario, el subgrupo de herramientas menos modificadas o sin modificar, que constituyen mayoría en la mina 'de la Turquesa', se documentan durante toda la Prehistoria.

- Las dataciones radiométricas ( $^{14}\text{C}$ ) obtenidas del sedimento que rellenaba el pozo L1, que nos proporcionan una fecha *ante quem* de Alta Edad Media. Las dos dataciones realizadas sobre material de relleno del pozo L1 (polen y sedimento) proporcionan una fecha entre los siglos VII y X d.C.

- La correspondencia de la signatura isotópica de la mina con materiales arqueológicos que se enmarcan en el Calcolítico Reciente y la Edad del Bronce Antiguo-Medio. Recordemos que las piezas coincidentes con la signatura de la mina 'de la Turquesa' son el pun-

zón de cobre arsenical de la Coveta de l'Heura (Ulldemolins) y el vaso de reducción de la Balma del Duc (Montblanc). Los punzones del tipo del de la Coveta de l'Heura se empiezan a utilizar en el Calcolítico, pero su uso perdura durante el Bronce Antiguo y Medio, con algunos tipos que perduran hasta el Bronce Final. Sin embargo, el estudio de la evidencia contextual y radiométrica de la cueva de Ulldemolins nos ha llevado a fecharlo en el Calcolítico Reciente (Rafel *et al.*, 2016). Los vasos de reducción están en uso en el Calcolítico y el Bronce Antiguo y Medio; en el Bronce Final la tecnología del horno los va substituyendo. No obstante, la Balma del Duc solo fue habitada durante el Calcolítico y el Bronce Antiguo y Medio, razón por la cual debemos enmarcar el vaso de reducción que se halló en ella en este marco cronológico (Rafel y Soriano, 2017).

Así pues, cronológicamente hablando podemos concluir que la mina 'de la Turquesa' fue explotada en época prehistórica, en un lapso temporal que debemos situar entre el Calcolítico Reciente y el final del Bronce Medio (2.300-1.300 a.C.). Otra cuestión distinta es datar las labores L1, L2 y L3. En el caso de L1 proponemos una cronología prehistórica basándonos –además de todo lo que llevamos expuesto hasta aquí sobre el marco contextual– en el hecho de que su excavación fue realizada con herramientas de piedra, sin la intervención de ningún instrumento metálico, hecho que sitúa el pozo L1 en un momento tecnológicamente prerromano. Por lo que respecta a las labores L2 y L3, la primera de ellas practicada con toda probabilidad con la técnica de *fire-setting* (que se documenta desde época prehistórica a época medieval), no podemos fijar, por el momento, su cronología precisa. Están en curso de realización dataciones por termoluminiscencia que quizás puedan dilucidar este aspecto.

El período en que datamos la mina, entre el Calcolítico y el Bronce Medio, constituye un momento

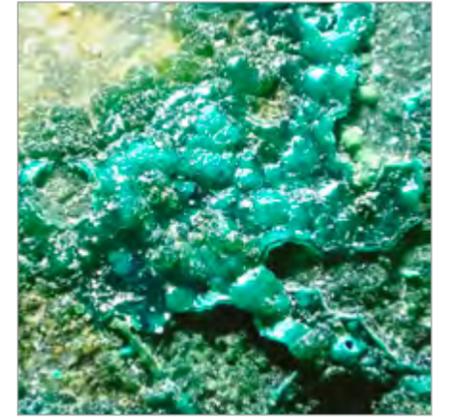


Fig. 56. Mina 'de la Turquesa': malaquita. C.V. 3 mm. Foto: Martí Rafel.

en que el Alt Priorat cuenta con una alta densidad de poblamiento que, además, presenta una concentración significativa en el entorno de la mina 'de la Turquesa' (Rafel *et al.*, 2017) [Fig. 54]. Con 30 casos, la comarca del Priorat es la que cuenta con más evidencias de arte rupestre en Cataluña. Se trata de representaciones que se fechan en su mayor parte entre el Neolítico y la Edad del Bronce y casi la mitad de ellas se localizan en el municipio de Cornudella de Montsant, donde se ubica la mina 'de la Turquesa'. De esta época contamos también con yacimientos que eran zonas de taller, en concreto para la elaboración de piezas de sílex, tan abundante en la comarca, con cuevas sepulcrales, ya sea naturales o levemente modificadas, y con hábitats tanto en cueva como al aire libre. En cambio, en el Alt Priorat las etapas posteriores, la Edad del Bronce Final y la I Edad del Hierro, muestran una significativa ausencia de datos; parece que el poblamiento de la zona sufre una crisis o recesión importante. En definitiva, pues, podemos afirmar que el contexto del poblamiento prehistórico del Alt Priorat otorga plausibilidad a la datación de Calcolítico Reciente y Bronce Antiguo y Medio para la mina objeto de nuestro estudio.

El reestudio que hemos llevado a cabo de este poblamiento muestra un panorama de comunidades vinculadas al territorio, pero con una cierta movilidad en el seno de su área de captación económica. Están organizadas en pequeños grupos

Fig. 54. Principales yacimientos arqueológicos en el entorno de la mina 'de la Turquesa'. Fuente: elaboración propia (Núria Rafel).

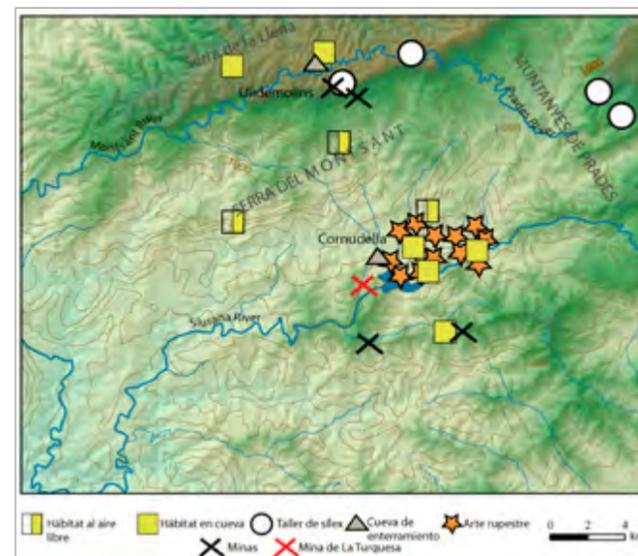


Fig. 55. Minas y yacimientos con piezas de las que se indica el probable origen del mineral en función de la analítica de isótopos Pb. Fuente: Rafel *et al.* (2017).



que viven en cuevas, abrigos y hábitats al aire libre e inhuman a sus muertos colectivamente, aunque en algún caso individualmente, en cuevas naturales o en paradólmens. Su economía es de base agropecuaria y la minería tiene en ella un papel de escala limitada, constituyendo una actividad a tiempo parcial. Los datos con que se cuenta hasta la fecha sugieren que la distribución del metal de la mina 'de la Turquesa' cubría un radio de unos 50 km [Fig. 55], en el marco de unas redes de intercambio tejidas con las comunidades vecinas. Es en el marco de estas redes en el que se intercambiaba también el sílex de Ulldemolins, la presencia del cual está certificada en yacimientos de la provincia de Lleida. Así pues, los habitantes del Alt Priorat entre 2.800 y 1.300 a.C. se dedicaron al beneficio del cobre como una actividad complementaria. En el caso de la mina 'de la Turquesa' el mineral que explotaban era principalmente malaquita [Fig. 56], que extraían con picos de piedra y, probablemente, con la aplicación puntual de la técnica de *fire-setting*, en un marco geológico caracterizado por una mineralización muy fracturada por las fallas y la meteorización y, en consecuencia, fácil de resquebrajar y

extraer. Una vez beneficiado, el material era triturado con mazas-percutores a pie de mina con el objetivo de eliminar toda la ganga posible y de dejar el mineral preparado para el transporte y la ulterior transformación en piezas.

### LA PREHISTORIA Y EL PATRIMONIO MINERO

El valor histórico, geológico, arquitectónico y cultural de todo lo que se vincula a la minería es hoy una realidad asumida por las instituciones, ya sean supranacionales (como la UNESCO o la UE) o bien nacionales y locales, así como por un número de ciudadanos cada vez mayor. Ello ha generado una serie de acciones encaminadas a proteger el patrimonio minero que sería largo enumerar y que han consistido, fundamentalmente, en declaraciones de interés patrimonial y/o cultural y en la adecuación de antiguas explotaciones y de los servicios a ellas vinculados que, cuando es posible, se abren a la visita o se vinculan a museos mineros.

Desde estas líneas queremos hacer llegar a todos los ciudadanos una especial llamada de atención a la importancia histórica de unas explotaciones mineras, las prehis-

tóricas, de una especial y extrema fragilidad. Si bien a partir de época romana, y no digamos en época industrial, es relativamente fácil reconocer las antiguas explotaciones, los restos de labores prehistóricas, a menudo completamente enmascaradas por trabajos posteriores, son más difíciles de detectar. Es por ello que la colaboración y el trabajo conjunto de mineralogistas e historiadores pueden conducir a un mejor conocimiento de la minería prehistórica. A simple vista, se pueden reconocer los restos de actividades de explotación prehistóricas ante todo por la presencia de instrumental de minero de piedra. Este tipo de herramientas, muy desconocidas por el gran público, son, en cambio, relativamente fáciles de reconocer con un mínimo de conocimientos. En las líneas anteriores hemos proporcionado algunos ejemplos de ellas.

Compartir y dar parte de hallazgos de este tipo es una cuestión clave para posibilitar el estudio de estos antiquísimos testimonios de la actividad minera y profundizar, en definitiva, en nuestra pasada Historia.

### Referencias bibliográficas

- 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". En: T. L. Kielin & B. W. Roberts (eds.), *Metals and Societies. Studies in honour of Barbara S. Ottaway. Universitätsforschungen 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.
- BABEL, J., et al. (2005). "The radiocarbon dating of the neolithic flint mines at Krzemionki in central Poland". En: *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/bd-min/VerIndicio\\_IGME.aspx](http://doc.igme.es/bd-min/VerIndicio_IGME.aspx)>
- BLAS CORTINA, M. A. De (1996). "La minería 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 Cabrières (Hérault): évidences par thermoluminescence (TL)". En: *La première métallurgie en France et dans les pays limitrophes. Mémoire 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". En: 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". En: 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". En: *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*. Tesis doctoral inédita. 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". En: 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". En: 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. 65-79.
- MONTERO-RUIZ, I., et al. (2009). "Provenance of lead in First Iron Age sites in Southern Catalonia (Spain)". En: 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. Série 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". En: *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". En: N. Rafel, I. Soriano i S. Delgado-Raack (eds.), *A prehistoric copper mine in the North-East of the Iberian Peninsula: Solana del Bepo (Ulldemolins, 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 North-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 nordeste 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". En: R. Treuil, H. Procopiou (eds.), *Mouldre et broyeur*. París: CNRS; pp. 31-53.
- STÖLLNER, T., EIBNER, C., CIERNY, J. (2004). "Prähistorischer Kupferbergbau Arthurstollen –Ein neues Projekt im Südtiroler Mitterberg-Gebietes (Salzburg)". En: 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". En: *Primer Simposio sobre la Minería y la Metalurgia 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 prestige social". En: T. Stöllner, G. Korlin, G. Steffens, J. Cierny (eds.), *Man and Mining-Mensch und Bergbau. Studies in honour of Gerd Weisgerberger on occasion 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". En: *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 of ground-penetrating 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](mailto:nrafel@historia.udl.cat)

**Aleu ANDREAZINI**

Universitat de Barcelona  
[aleuan@gmail.com](mailto:aleuan@gmail.com)

**Selina DELGADO-RAACK**

Universitat Autònoma de Barcelona  
[selina.delgado@uab.cat](mailto:selina.delgado@uab.cat)

**Mark A. HUNT**

Universidad de Sevilla  
[mhunt@us.es](mailto:mhunt@us.es)

**Joan Carles MELGAREJO**

Universitat de Barcelona  
[joan.carles.melgarejo.draper@ub.edu](mailto:joan.carles.melgarejo.draper@ub.edu)

**Ignacio MONTERO**

Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid  
[ignacio.montero@cchs.csic.es](mailto:ignacio.montero@cchs.csic.es)

**Ana Luísa RODRIGUES**

Universidade de Lisboa  
[alsr@ctn.tecnico.ulisboa.pt](mailto:alsr@ctn.tecnico.ulisboa.pt)

**Ignacio SORIANO**

Universitat Autònoma de Barcelona  
[ignacio.soriano@uab.cat](mailto:ignacio.soriano@uab.cat)