

Ingeniería minera antigua y medieval en el suroeste ibérico

J. A. Pérez Macías⁽¹⁾ y A. Delgado Domínguez⁽²⁾

(1) Universidad de Huelva. Área de Arqueología, Departamento de Historia I, Facultad de Humanidades, Pabellón 12, planta baja, Campus de «El Carmen» Avenida de las Fuerzas Armadas, S/N. 21071 Huelva.

japerez@dhis1.uhu.es

(2) Museo Minero de Riotinto. Fundación Río Tinto, Plaza del Museo s/n, 21660 Minas de Riotinto (Huelva)
museomineroriotinto@telefonica.net

RESUMEN

Este trabajo es una síntesis sobre el conocimiento de las labores mineras antiguas en el suroeste peninsular. Así a la luz de las últimas investigaciones, sin dejar atrás las fuentes de los siglos XIX y XX sobre el particular, se sistematizan de forma diferenciada los trabajos mineros prehistóricos y protohistóricos, aportándose la existencia de minería de interior o contramina para época tan pretéritas cuando tradicionalmente sólo se han asociado a este período labores superficiales. Para época romana se repasan todos los tipos de labores documentadas hasta la actualidad para poder distinguirlas en la medida de lo posible de las labores medievales, que hasta hace poco se consideraban casi inexistentes.

Palabras clave: contramina, cuevas y pisos, galerías, ingeniería minera antigua, rafas

Ancient and medieval mining engineering in the southwest of the iberian peninsula

ABSTRACT

This work provides a summary of our knowledge about the old mining works in the southwest of the Iberian Peninsula. Thus in the light of recent investigations, always bearing in mind the descriptions of these ancient mining works made by engineers and geologists in the XIX and the XX centuries, we have been able to systematize the prehistoric and protohistoric mining works and provide evidence for the existence of underground mining during these remote times, when it was believed that only open-cast extraction took place. In the same way we have looked into all the types of mining works documented from the Roman period to the present day and been able to distinguish a continued use of these during the Middle Ages at a time when, until recently, they were considered hardly to exist.

Key words: ancient mining engineering, caves and levels, galleries, trenches, underground mining

Introducción

Los estudios de minería antigua siempre encuentran una dificultad, la continuidad de la extracción minera a lo largo de los siglos ha destruido muchos de los minados, y sólo en aquellas minas en las que no han existido prospección o explotación contemporáneas podemos estudiar las minas en sus detalles. Cuando la mina ha seguido en explotación, esta minería destruye los vestigios anteriores y a lo sumo se conservan algunas labores que no siempre son útiles para comprender la ingeniería minera de cada momento.

La minería antigua, como la actual, se adapta y se dispone en relación a la topografía de la mineralización que quiere beneficiar, y a lo largo del tiempo la explotación minera ha podido coincidir en su tipología por la forma en que se presentaba la masa o filón

de minerales. Por ello, cualquier intento serio de estudio de la minería debe partir de un profundo conocimiento geológico, de composición y de génesis, pues de lo contrario podemos estar catalogando como prehistórica una trinchera o rafa del siglo XIX. Tratar de explicar así la evolución de las técnicas mineras en el suroeste ibérico desde época romana a medieval entraña sus riesgos, pues nuestro conocimiento de todo el sistema minero es muy parcial, casi siempre catalogado como romano por la intensa explotación romana de estas minas, pero que desde el punto de vista tipológico podría corresponder perfectamente a época medieval islámica o cristiana, del mismo modo que podemos encontrar una minería en rafa (trinchera) en épocas romana y medieval, sin que esto suponga un sistema obsoleto de extracción, más propio de la prehistoria.



Figura 1. Galería romana de exploración (Filón Norte, Riotinto)
Figure 1. Roman prospecting gallery (north lode, Riotinto mine)

Si estas advertencias sirven para la tipología de las labores mineras, también hay que prestar atención a los minerales buscados. Con esa reducción de minería prehistórica-minería superficial-carbonatos, minería romana-minería de profundidad-sulfuros secundarios, y minería contemporánea-minería de profundidad-sulfuros primarios, a veces podemos incurrir en graves errores de atribución, pues por ejemplo la minería romana, que se destaca ante todo por su voracidad, atendió a la búsqueda de minerales con buenas leyes, ya fueran carbonatos, sulfuros secundarios o sulfuros primarios, como tendremos oportunidad de comprobar en las páginas que siguen. Por otro lado, tampoco es infrecuente que se encuentren minerales secundarios e incluso minerales complejos asociados a instalaciones metalúrgicas prehistóricas. Para evitar estos inconvenientes y no



Figura 2. Galería romana de exploración (Filón Sur, Tharsis)
Figure 2. Roman prospecting gallery (south lode, Tharsis mine)

entrar en generalizaciones y especulaciones conviene asociar estos restos de minería y metalurgia con registros arqueológicos claros, con cronología bien definida por la tipología cerámica o por dataciones de cronología absoluta.

Planteadas estas salvedades, es verdad que existe una evolución de las técnicas mineras que han ido perfeccionándose a lo largo del tiempo para poder alcanzar mayores profundidades en los yacimientos minerales. Determinadas labores pueden definir una etapa de explotación romana, del mismo modo que ciertos rasgos distinguen a las prehistóricas. La distinción de las labores romanas y las medievales es más problemática sin su contexto arqueológico.

La minería prehistórica y protohistórica

En una zona minera en la que las operaciones de minería se han seguido a gran escala, en la mayor parte a cielo abierto (*open cast system*), es difícil acercarse a la investigación de la minería más antigua. La industrialización de las labores con potentes máquinas de extracción ha destruido gran cantidad de labores antiguas, y hoy es casi imposible hacernos una idea aproximada de la ingeniería minera empleada en estas minas desde la Prehistoria a la Edad Media. Por fortuna, ingenieros y geólogos recogieron en sus publicaciones las características y disposición de estos minados y los materiales arqueológicos asociados a ellos, con lo que el panorama no es tan descorazonador. Estos geólogos e ingenieros ofrecieron también las primeras explicaciones técnicas de las labores que iban apareciendo, y aunque su planteamiento pueda ser parcial, pues rara vez se estudiaba el complejo minero completo, se ofrecieron algunas notas interesantes para comprender los modos antiguos de búsqueda y arranque del mineral. Entre estos trabajos merecen destacarse los de Gonzalo y Tarín para las minas de Huelva en general (Gonzalo Tarín, 1888), que anota los restos de minería antigua en cada una de las minas, a las que acompaña de dibujos precisos que permiten entender la tipología de las labores; los estudios particulares de R. Palmer sobre las minas romanas de Riotinto (Palmer, 1927), que sigue siendo una referencia valiosa de la minería antigua; y los de Viana, de Andrade y Da Veiga sobre las labores descubiertas en Aljustrel (Viana *et al.*, 1954).

Hasta hace algunos años estas obras eran la referencia bibliográfica sobre la minería antigua en el suroeste peninsular, recogidas en manuales y obras generales, pero en los últimos años ha existido un mayor interés de la arqueología en la documentación de los minados que aún se conservan, y merecen

citarse los trabajos realizados en la zona de Cortalago (Willies, 1997) y el Museo Minero de Riotinto (Pérez *et al.*, 1991), y los de Aljustrel por la Universidad de Toulouse (Cauuet, *et al.*, 2002). A estos se añaden los que está realizando el Instituto Arqueológico Alemán en las minas de *Munigua*, en los filones de Piedra Resbaladiza-Manchallana y de Puerto Cid, que en comparación con los trabajos anteriores sobre masas de sulfuros permiten caracterizar la minería antigua sobre estructuras filonianas. En el momento actual, en el que casi todas las minas están cerradas, sería una buena oportunidad para documentar los restos de minería que todavía se ven en muchas minas, con recogida de muestras y fotografías de detalle que pueden resolver las incógnitas que rodean la explicación sobre el funcionamiento de estos restos mineros, han aparecido trabajos en otras zonas mineras (Urteaga, 1997; Gallardo *et al.*, 1995 y Mergulho *et al.*, 2001).

La principal cuestión que queda pendiente es la poder diferenciar, si es que esto es posible, las labores romanas de las medievales-modernas. Debido al enorme volumen de los escoriales romanos de estas minas, la gran cantidad de minados antiguos que han ido apareciendo a los largo de la minería contemporánea, se asignaron por defecto y sin criterio cronológico fiable a época romana. De esta forma se supone, sin ninguna seguridad, que todos esos restos de minería son de época romana, pero la documentación arqueológica ha detectado que esos minados fueron también visitados y trabajados en la Edad Media, como ha podido comprobarse en la masa de Algarres de Aljustrel mediante análisis radiocarbóni-



Figura 3. Galería romana de exploración (Corta Poniente, La Joya)
Figure 3. Roman prospecting gallery (west opencast, La Joya mine)



Figura 4. Galerías romanas en California (Cala)
Figure 4. Roman galleries at the California mine (Cala)

cos, con lo que ahora, sin ese presentismo inicial, existen serias dudas para determinar su cronología, y es necesaria la prueba arqueológica, el contexto de cultura material que se encuentra en ellos, para poder alcanzar conclusiones más firmes. Esto también ha sucedido en Riotinto, donde todos esos restos de minería se han adjudicado a época romana, por el simple criterio de que en esta mina no hubo explotación medieval, pero los yacimientos islámicos de la mina (Castillo de Salomón) invitan a considerar que también en este momento hubo minería y metalurgia, aunque no alcanzara las cotas de producción de época romana, lo que se ha visto confirmado por la aparición de candiles islámicos en algunos de estos minados, una prueba de que se trabajaba en ellos, aunque fueran de origen romano. No es que ahora queramos cambiar una opinión general, sólo queremos advertir que para fechar estas minas tienen que aparecer materiales arqueológicos, ya que la tecnología minera no cambia mucho, o nada, en la Edad Media, en este sentido todos los recursos mineros y metalúrgicos que ilustran la obra de G. Agrícola siguen la tradición romana de pozo y galería (Domergue, 1990).

De manera indirecta suele ser el poblamiento de los cotos mineros el que nos ofrece las pautas de explotación minera, y a veces se convierte en el único referente de la misma, ya que en las minas más intensamente explotadas los restos de minería anteriores han desaparecido. Los primeros trabajos de explotación minera se remontan a mediados del III milenio a.C. La excavación del asentamiento de Cabezo Juré (Alosno) (Nocete, 2004), donde se han registrado fun-

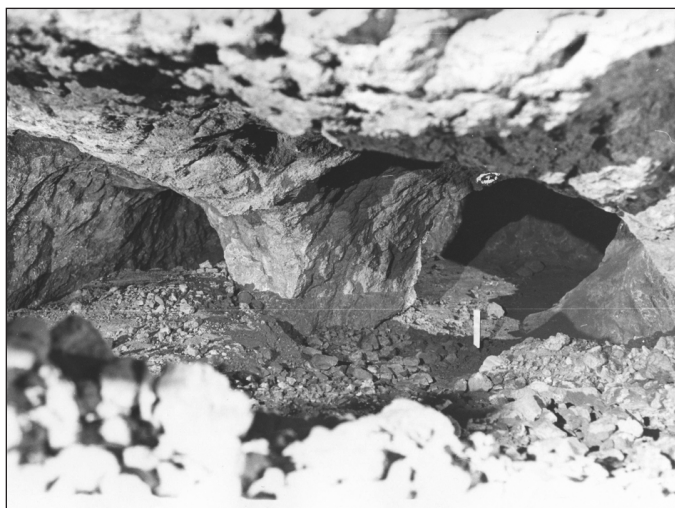


Figura 5. Cueva romana de extracción (Filón Norte, Riotinto)
Figure 5. Roman cave mine (north lode, Riotinto mine)



Figura 6. Cueva romana de extracción (Filón Sur, Tharsis)
Figure 6. Roman cave mine (south lode, Tharsis mine)

diciones prehistóricas de cobre, evidencia el laboreo minero en la cercana mina de Tharsis. Se ha propuesto que los minerales proceden de Filón Sur y se incluyen en ellos sulfuros secundarios, pero parece más razonable relacionarlos con las formaciones de cobres exógenos de Esperanza, abundante en carbonatos de cobre cementados en las pizarras, procedentes de la lixiviación y cementación de los minerales de la masa de Filón Sur. Admitir que los minerales proceden de la zona de enriquecimiento secundario de Filón Sur sería otorgar a la minería calcolítica una capacidad tecnológica difícil de asumir, tanto en las de profundización hasta alcanzar el enriquecimiento secundario, situado a más de 50 m de la superficie, como por los problemas de desagüe, ya que esos minerales se encontraban en el nivel freático. Podría haberse atacado la mineralización desde los costados, en el contacto con las rocas de caja, pero esos carbonatos y sulfuros se encontraban en superficie en Esperanza, donde con simples labores superficiales podían obtenerse grandes cantidades. Todavía en el siglo XX esos carbonatos y sulfuros se extrajeron en grandes toneladas por medio de una corta a cielo abierto (Corta Esperanza), que destruyó todas las labores anteriores, prehistóricas y romanas. No serían pues las labores mineras de este primer período de explotación de las minas del suroeste peninsular extracciones complejas, con criterios de ingeniería minera, sino simples trabajos superficiales, de cuya tipología no nos ha quedado rastro alguno.

Este tipo de cobres exógenos no son abundantes en la región, sólo se conocen en otro coto minero, el de Santa Bárbara (Herrerías, Puebla de Guzmán), y de

ahí la escasa significación que tienen los útiles metálicos en los registros funerarios de esta zona. El impulso minero adquiere un fuerte avance en la Edad del Bronce, a mediados del II milenio a. C., por el descubrimiento del mineral rico en plata y los inicios de su metalurgia. Aparecen por primera vez en las cistas objetos de plata y en Riotinto se conocen dos asentamientos metalúrgicos del momento, La Parrita y Cerro de Tres Águilas (Pérez Macías, 1996). En La Parrita se han recogido muestras de escorias de plomo-plata en las cistas, que formarían parte de los ajueres funerarios de estos primeros metalurgos, y en sus áreas de fundición un crisol, pequeñas escorias de plomo-plata, conglomerados fayalíticos de vasijas-hornos, diminutos fragmentos de hematites, utilizados probablemente como fundentes, y pequeños trozos de gossan jarosítico. En Tres Águilas aparecen por primera vez escorias de plomo-plata de sílice libre, en un contexto cerámico del Bronce Pleno.

Por encima del problema que pueda plantear el estudio de este tipo de escorias, parece evidente por los materiales, sobre todo el mineral de gossan recogido junto a las escorias, que ha comenzado a explotarse la base de la montera de gossan, rica en minerales de plata. Como en el caso anterior de Tharsis, desconocemos labores mineras del momento, pero la propia situación de estos asentamientos puede ofrecernos algunas pistas. Al contrario de lo que sucede en época romana, estos poblados mineros no se encuentran en el costado norte de la Sierra del Mineral (Quebrantahuesos, Salomón y Colorado), sino en el costado sur, donde las rocas de caja son vulcanitas ácidas, anteriores a la fases fumarólicas

que dieron origen a las mineralizaciones. Los estudios geológicos confirman que en las primeras fases de emisión de minerales los sulfuros eran ricos en plomo, es decir más complejos, y ese gossan jarosítico tenía mayor cantidad de plomo. (García Palomero, 1980)

Para el Bronce Final y el período Orientalizante contamos ya con las primeras evidencias claras de minería, como las excavadas en Chinflón (Zalamea), ya referenciada, sobre un filón de sulfuros de cobre, y en Quebrantahuesos (Riotinto), en el contacto entre el gossan y las rocas de caja (pizarras) en la zona de Filón Norte. La mina de Chinflón es hasta ahora la única mina metálica prehistórica excavada en el S.O. de la Península Ibérica, y su cronología de Bronce Final está bien asentada por los materiales cerámicos del poblado minero que se encuentra junto a las labores (Pellicer y Hurtado, 1980), donde se procesa el mineral a juzgar por los restos metalúrgicos (escorias). Abundan en superficie y en la mina los martillos de piedra con surco central de enmangue, que por sus paralelos en Oriente llevó a fechar estos trabajos mineros en el III milenio a.C., aunque después se ha demostrado su uso desde la Edad del Bronce hasta el período orientalizante. Las minas son simples rafas o trincheras de poca longitud y escasa profundidad con las que el minero prehistórico ha ido recogiendo los carbonatos de cobre que delataban al filón en superficie. Como única media de seguridad se han dejado sin extraer unos estrechos pasillos transversales a la mineralización, desde los que podía izarse el material. Estos puentes existen también en la minería romana, las denominadas llaves en la terminología minera del siglo XIX. Desde su excavación esta tipología minera de trinchera superficial para explotar los carbonatos ha servido de modelo para definir a la minería prehistórica, suponiéndose que desde la Edad del Hierro el nuevo instrumental de hierro permitió a la minería alcanzar mayores profundidades, con pozos perfectamente tallados, con los que era posible descender al enriquecimiento secundario. Ya hemos explicado anteriormente que este tipo de minería en rafa tiene que ver precisamente con la tipología de la mineralización, filoniana, y con la explotación de la zona de oxidación. Es cierto que la minería prehistórica es generalmente superficial, aunque no siempre, pues se conocen casos de minería interior desde el Neolítico (Gavá), pero podemos encontrarla también en época romana, como por ejemplo en la mina La Loba (Fuenteovejuna, Córdoba) (Blázquez *et al.*, 2002), e incluso en época contemporánea, cuando ésta aprovecha una estructura filoniana, como sucede en la minería del manganeso en los siglos XIX y XX.

La galería excavada en Riotinto, rellena con mate-

riales cerámicos (ánforas fenicias y cerámicas a mano tartésicas) y metalúrgicos (escorias y toberas) del siglo VII a.C., nos muestra que esta minería prehistórica y protohistórica también utiliza labores de contramina cuando busca otro tipo de minerales situados a mayor profundidad. Es este caso se trata de una pequeña cueva, cuyo desarrollo completo desconocemos al estar seccionada por los trabajos modernos, que explotaba desde la ladera norte de Cerro Salomón los niveles de enriquecimiento en plata de la parte inferior de la montera gossanizada, en la zona de contacto con las rocas de caja, las pizarras carboníferas. Se buscaban los niveles inferiores del gossan no desde la parte superior de los criaderos, desde la que hubiera sido difícil llegar a ellos por la dureza del mineral, muy silíceo, y por su profundidad, entre los 50 y 70 m. Desde las partes bajas una simple galería en forma de cueva artificial de recorrido irregular era un acceso cómodo a estos minerales. Este tipo de minería en cueva se practicó también en la zona conocida como Alto de la Mesa, una formación de gossan transportado, originado por la cementación de los sulfatos de hierro en zonas pantanosas y sin contenidos de oro y plata, donde estos crestones oxidados en posición secundaria fueron objeto de explotación en la zona de contacto con las pizarras basales, y de una de estas cuevas se recogieron una tonelada de martillos de piedra con surco central de enmangue (Nash, 1904).

La minería prehistórica se adaptó pues a la propia disposición de la mineralización, con trincheras en las estructuras filonianas, y con galerías y cuevas desde



Figura 7. Galería Sabina y galería de desagüe romana (Tharsis)
Figure 7. Sabina gallery and a roman drainage gallery (Tharsis mine)

los costados de los cerros en las masas de sulfuros polimetálicos.

Carecemos de referentes tan precisos para la minería prerromana de la II Edad del Hierro, pero es posible que la generalización del uso del instrumental de hierro aportara nuevas capacidades, mayores dimensiones de las labores y regularidades de trazado, facilitando un mejor aprovechamiento de las zonas de enriquecimiento.

Minería romana

Con estos precedentes, todavía escasos para poder determinar la verdadera efectividad de esa ingeniería minera, es en época romana cuando se producen notables avances, tanto en los sistemas de exploración minera, como en los de extracción y desagüe. Se han exagerado mucho los métodos utilizados, que se mantuvieron a lo largo del tiempo, pero hay que hacer notar que, como en otras cuestiones, la minería romana es excesivamente práctica, hasta tal punto que conviene definirla antes que nada como selectiva; sabe lo que busca y extrae eso, sin perder energías en arrancar estériles o minerales de baja ley, lo que habría facilitado una mayor comodidad de trabajo. Las escombreras de las minas romanas son de reducidas dimensiones, a veces provocadas más por desatoramiento de las labores anteriores, y de ahí que en muchos casos en estas escombreras aparezcan martillos prehistóricos, que creo que se asignan erróneamente a época romana. Las pequeñas escombreras se forman más por el estrío de las zonas de enriquecimiento que por la extracción de estériles para seguir el sentido de la mineralización a la búsqueda de zonas de buenas leyes. Las extracciones se paralizan allí donde desaparecen esas concentraciones de mineral rentable y comienza la búsqueda en otra zona del filón o masa con una labor nueva. Por ello, en la topografía de este tipo de labores empleamos el término de complejo minero, porque la minería se distribuye en forma de minados independientes, sin que exista relación entre ellos.

Esta característica general está detrás de todas las labores que pueden situarse con seguridad en época romana, tanto en las masas de sulfuros polimetálicos como en los filones de sulfuros de cobre. Ahora bien, la literatura que nos ha llegado de los ingenieros de minas del siglo XIX (Elhuyar, 1823); (Ezquerro del Bayo, 1852); (Anciola y Cossio, 1856) y (Rúa Figueroa, 1868) en el momento en el que se redescubrieron la mayor cantidad este tipo de labores, ayuda a que comprendamos de mejor manera el lenguaje tipológico de la ingeniería romana.



Figura 8. Pozo romano de acceso en Las Mesas (Silos de Calañas)
Figure 8. Roman adit shaft at Las Mesas (Silos de Calañas mine)

Con respecto a las labores hay que aclarar que éstas pueden ser de exploración, simples sondeos para buscar zonas de enriquecimiento, o de extracción, y esta tipología no siempre está presente en las descripciones. Se insiste por parte de todos que los crestones de óxidos de hierro de las masas y filones era la señal inequívoca de la existencia de una mineralización, pero siguiendo criterios de la moderna minería, este conocimiento no basta, hay que sondear los yacimientos para conocer su riqueza y la posición exacta de los enriquecimientos, para después atacarlos y extraerlos, fin último de todo trabajo de minería. Como labores de exploración no podemos destacar sólo el hecho de que se conociera que tal tipo de rocas, por su coloración y por su peso, eran suficientes para iniciar su minería, y en esto los óxidos de hierro superficiales eran un indicio seguro de la presencia de minerales. La exploración minera no se detiene únicamente en el descubrimiento de los yacimientos, sino, lo que es más importante, tiene que determinarnos en ellos dónde se encuentran las leyes más rentables para su reducción. En este sentido son aclaratorias algunas disposiciones de las tablas de Aljustrel en relación con las concesiones (Domergue, 1983), y en ellas se determina, sobre un yacimiento conocido ya en términos generales, que aquellos concesionarios que obtengan la *conductio* sobre pozos no pueden dejar abandonadas las labores por un plazo máximo de cinco años; se ha contratado la exploración y si ésta ha fracasado, se le retira la concesión a los cinco años, para que no se conviertan en concesiones vitalicias, como ocurre hoy en muchas minas, y otro *conductor* pueda probar suerte.



Figura 9. Pozo romano de acceso en Los Silillos (Valverde del Camino)

Figure 9. Roman adit shaft at Los Silillos mine (Valverde del Camino)

De tal manera, el *fiscus*, al que pertenecían estas minas, tenía asegurado un trabajo de exploración continua, porque al fin y al cabo en lo que estaba interesado era en su explotación, sobre la que la caja imperial obtenía unos pingües beneficios en función del mineral arrancado (Domergue, 1990).

No es, pues, la exploración minera una cuestión baladí, y la administración imperial de las minas dispone normas sobre la misma, en un intento de asegurarse que continuara la investigación y con ello la minería extractiva. Pero, ¿cuáles son las formas de exploración? La primaria es la que delata los yacimientos, identificarlos, a través de los crestones oxidados o bien por la existencia de fuentes con aguas ferruginosas, que delataban la existencia de una masa oculta. Es la más fácil, y con un conocimiento somero del territorio relativamente rápida. De ahí que en los primeros años del principado de Augusto los ingenieros romanos descubrieran todos los yacimientos que se explotaron en la segunda mitad del siglo XIX, e incluso algunas masas que estaban cubiertas por las pizarras carboníferas y no tenían esos llamativos sombreros de hierro que las delataban en superficie.

Identificado el yacimiento, la labor de exploración sigue y ésta es la más difícil, porque requiere de enormes esfuerzos en mano de obra y en capital. Ahora hay que conocer la disposición exacta o aproximada de la mineralización, y ya no vale la observación, salvo si había labores anteriores que ofrecieran alguna pista, sino que era preciso el sondeo para poder

comprobar la naturaleza de los minerales. ¿Quién era el encargado de esta investigación? No lo sabemos con seguridad, y los bronce de Aljustrel dejan entrever que son los propios concesionarios los que tienen que invertir en ésta no siempre recompensada tarea de buscar los minerales, pero no hay que olvidar tampoco que era competencia exclusiva del administrador imperial (*procurator metallorum*) el mantenimiento y protección de determinadas labores mineras imprescindibles para la continuidad de la minería, entre ellas las de desagüe, y ellas son también labores mineras subterráneas. Con lo cual hay que suponer que también los ingenieros imperiales realizaban labores de minería y mantenimiento comunes para dejar el yacimiento a disposición de la iniciativa privada. Eran ellos probablemente los que en primer lugar ponían en valor las minas, para incentivar la extracción por medio de la *conductio-locatio*.

De todas formas, la exploración minera era fundamental para que la empresa tuviera éxito, y en este punto la ingeniería romana desplegó recursos que no se conocían antes. Las leyes de Aljustrel nombran a la mina (*metallum*) como pozo (*puteus*) y es ésta la primera aportación de la minería romana. Para la búsqueda de zonas de enriquecimiento en los yacimientos ya no se atacan las mineralizaciones desde los costados como en época prerromana, sino con pozos, directamente desde la parte superior de los afloramientos. Estos pozos de exploración, muy conocidos, suelen tener plantas circulares, cuadradas o subcirculares, y unas dimensiones constantes de 1 m de lado o diámetro. En sus paredes tienen excavados unos huecos paralelos a cada lado, de tal forma que se podía subir por ellos como por una escalera, o bien se colocaban palos de madera entre ellos para hacer la escalera. Su función consistía en perforar los duros crestones silíceos de gossan, y llegar a zonas más profundas de la mineralización, a la base de la montera oxidada o al enriquecimiento secundario. En el caso de éxito, a partir de ellos comenzaba la extracción por medio de una cámara subterránea, cuya planta final dependía de la zona extraída, aunque en general suelen ofrecer dimensiones suficientes para que el minero trabajara con facilidad de movimientos. En el caso de que la búsqueda no alcanzara minerales explotables, comienza la exploración desde la superficie con otro pozo, y así sucesivamente. Estos pozos no siempre son verticales, cuando la roca era demasiado dura, el perfil del pozo es inclinado, para evitar esas rocas, pero estos pozos-rampa mantienen la regularidad de la labor en sus dimensiones. En algunas minas del suroeste, como la de Cabezos del Pasto (Puebla de Guzmán) o Cerro Colorado

(Riotinto), los cerros estaban acribillados de centenares de pozos, pero en los alrededores no se encuentran escoriales significativos, lo que demuestra el fracaso de la exploración, a pesar del empeño puesto en ella.

Las cámaras de extracción, denominadas en la literatura minera como anchurones o cuevas, son, por el contrario, siempre irregulares. El minero romano arranca sólo aquello que puede aprovechar, sin preocuparse en extraer estériles para ganar comodidad de trabajo, y en ocasiones estas labores subterráneas tienen frentes de extracción de no más de 40 cm de ancho. Esta minería de pozo y cámara, la verdadera aportación de la ingeniería romana, se complementa con otra serie de medidas cuando la labor es de grandes dimensiones. Para facilitar la ventilación se trazan pozos (*spiramina*) comunicados con el exterior a intervalos regulares, para que exista corriente de aire. Dado que las condiciones de la concesión eran impuestas por los funcionarios imperiales, con estos pozos era posible la proyección topográfica de la mina en la superficie, de su recorrido y de sus dimensiones exactas, y de este modo podía controlarse su espacio (Cauuet, 2004), para que no colisionara con otros arrendatarios o pudiera perjudicar las infraestructuras de mantenimiento, como la galería de desagüe.

Cuando se agota la zona de enriquecimiento encontrada, desde la misma cámara se realizaban otras labores de exploración. Podían emplearse pozos verticales o contrapozos para bajar a cotas inferiores, pero lo normal es que la exploración minera siga en horizontal en las mismas cotas, pues en ellas es donde se encontraban los minerales que se buscaban. La exploración minera se realiza entonces con pequeñas galerías, muy regulares en sus dimensiones como los pozos de exploración. Por esas medidas reciben el nombre de *cuniculi*, y son las labores más conocidas de la minería romana, hasta el extremo de que se identifican como labores de extracción, cuando en realidad se trazaban para la búsqueda, como denota su regularidad. En sus paredes, cada dos metros, aparecen unos huecos ennegrecidos en las paredes, donde se colocaban las lucernas para alumbrar la zona de trabajo, y se ven perfectamente los surcos de las herramientas de hierro, de las pequeñas piquetas que facilitaban una labra perfecta y regular. En el caso de encontrar otra zona de enriquecimiento, se abría a partir de ellas una nueva cámara hasta dejar agotado el mineral.

En la mayor parte de las minas del suroeste quedan huellas de estas pequeñas galerías colgadas en la vertical de los bancos de las cortas de extracción al aire libre, pero muy pocas cuevas o cámaras, salvo



Figura 10. Galería romana de exploración (Corta de São João, Aljustrel)

Figure 10. Roman prospecting gallery (São João opencast, Aljustrel)

las que han podido topografiarse en Riotinto y Tharsis. En Riotinto se conocían por sus nombres todavía en el siglo XIX, y entre las enumeradas por Rúa Figueroa se encuentran las de Silo de la Mota, Cueva del Lago o de los Murciélagos, Cueva del Tabaco, Pozos Amargos, Hoyo de la Reina, Cueva del Salitre, Cueva de la Reina Mora, y Cuevas de Sobial (Rúa Figueroa, 1859).

Son éstas las verdaderas labores de extracción de la minería romana, y es en ellas donde se despliega las verdaderas innovaciones de la ingeniería minera. Por encima de sus características topográficas, entre las que hemos destacado la irregularidad de sus trazados, que se ciñe en sus formas a las formas de enriquecimiento de mineral, desde estrechos pasos que no alcanzan los 30 cm de anchura en algunos rincones, hasta cámaras de varios metros en otras zonas. Estas cuevas presentan una minería más desarrollada si la riqueza del mineral seguía a cotas inferiores, y

entonces aparece la minería de pisos. Desde estas cámaras se trazaban a veces pozos verticales y pozos-rampa (planos inclinados) para explorar el yacimiento en profundidad, y ello determinaba la existencia de un nuevo piso de explotación. Conocemos incluso algunos casos en los que la riqueza del mineral ha permitido el desarrollo de cuatro pisos superpuestos, cuatro sistemas de cuevas en altura, comunicadas unas con otras por pozos. El acceso se realizaba siempre desde el pozo maestro que comunicaba el primer piso con el exterior, y desde éste sucesivamente se alcanzaban los pisos inferiores.

Algo sorprendente de esta minería de pozo y pisos, es que en algunas minas, como Aljustrel, se localizaron labores en realce, en las que se trabaja desde abajo hacia arriba. Es una técnica muy conocida en la minería contemporánea, que parte del hecho de que es más fácil que el mineral caiga por su propio peso al suelo de la labor, sin tener que elevarlo a un piso situado a una cota superior. Sin duda, en estos momentos la ingeniería descubrió una serie de procedimientos mecánicos en la extracción minera que luego se han hecho frecuentes en las técnicas mineras.

En esos grandes anchurones o cuevas es donde encontramos también medidas de seguridad, y no es el entibado la principal de ellas. Por lo general, el minero romano, que buscaba la parte baja de la montera gossanizada, encuentra un mineral resistente al desplome si está bien tallado, pero como medida de precaución en el comienzo del trabajo la labor se inicia con dos galerías gemelas, y una vez comprobado que el mineral es lo suficiente duro se abre la separación entre ellas para explotar la zona con una gran cámara. En ocasiones quedan las huellas de estas dos galerías gemelas, pues la parte superior del pilar de separación entre ellas queda como un muñón sin picar. En las mismas labores es necesario a veces que se dejen pilares, y en muchas cámaras se ven columnas de mineral sin beneficiar para asegurar la solidez de la labor. Estas columnas de las minas romanas fueron muy importantes para los mineros del siglo XIX, ya que de ellas se extraían muestras de mineral que informaron de sus leyes. La descripción de geólogos e ingenieros de minas nos comentan las leyes de mineral de estas columnas de las cuevas romanas, y también de otro tipo de columnas horizontales. Estas columnas son inclinadas cuando la labor tiene una sección superior o inferior a 90°.

Son pues la minería de pozo-cueva y la de pozos-pisos la gran novedad de la minería romana, pero a veces el acceso a la zona rica en mineral no se realizaba desde la parte superior de la mineralización, sino desde la ladera o desde la parte inferior de los



Figura 11. Rafa romana en Las Amoladeras (Encinasola)
Figure 11. Roman trench at Las Amoladeras mine (Encinasola)

cerros. En ese caso la técnica es parecida, la de galería-cueva, una galería de acceso, a partir de la que se abre una cámara o cámaras cuando se llega al mineral que se desea explotar.

Tanto en un caso como en otro, los pozos maestros y las galerías de acceso son de dimensiones distintas a los pozos y galerías de exploración. En los segundos siempre son de pequeñas dimensiones, poco más de 1 m de diámetro en los pozos y 80 cm de altura en las galerías. En las pozos y galerías de entrada las dimensiones son muy superiores, en los pozos se pueden alcanzar los 2 m de diámetro, para permitir la colocación de tramos de escaleras labrando pequeños descansos en sus paredes para insertarlas, y en las galerías, de más de 1,80 m de altura, ya es posible caminar de pie y con suficiente anchura para que varios mineros puedan entrar a la vez.

Las entibaciones no son raras en estas minas del suroeste, y se conservan algunos ejemplos ilustrativos en los dibujos de las labores de Aljustrel, Riotinto



Figura 12. Rafa romana en Los Ramos (Valverde del Camino)
Figure 12. Roman trench at Los Ramos Mine (Valverde del Camino)

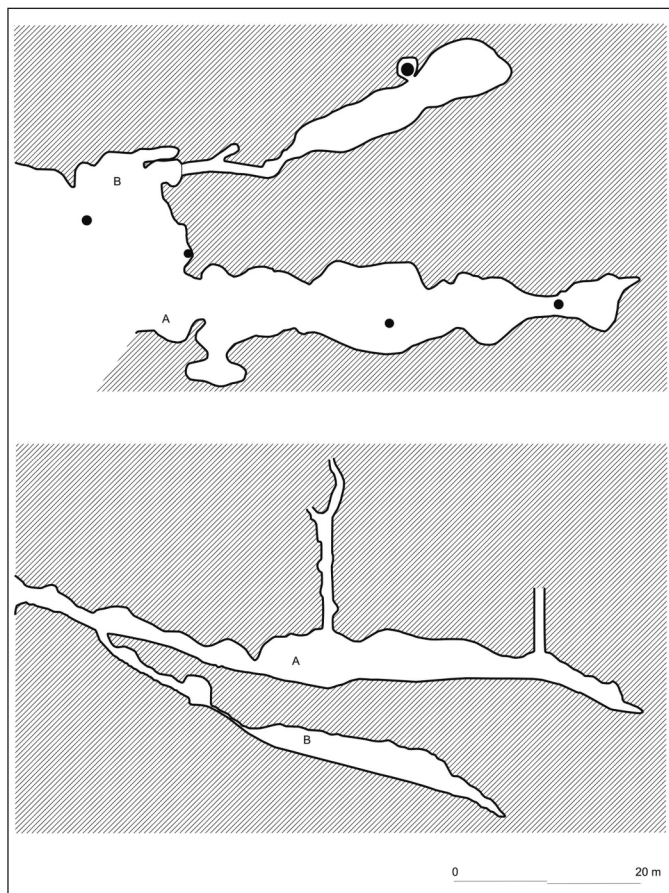


Figura 13. Planimetría de una cueva romana de Riotinto
Figure 13. Plan of a Roman cave at the Riotinto mine

y Tharsis. Se conocen algunos ejemplos de planchas de madera que forran los pozos de ventilación o pozos de extracción, para evitar que los desprendimientos de las paredes pudieran dañar a quienes trabajan en ellos. Estas planchas, a matajunta, difícilmente hubieran evitado la ruina de la labor, pero eran útiles para alejar el peligro de los desprendimientos. Eran muy necesarias en cuanto la labor abandonaba la base de la montera de gossan y profundizaba en la zona de cementación, en la que el mineral es más deleznable y podía provocar accidentes. La madera empleada es preferentemente de encina o alcornoque, una madera local que ofrecía buenas prestaciones por su robustez. De esta madera se han localizado también pequeñas escaleras realizadas en un tronco para poder superar las alturas de los tajos, pequeñas bateas para seleccionar el mineral, rodos para el estrío, etc.

A pesar esta variada tipología de labores, que responde a la distinta funcionalidad de cada una de ellas, las labores que más han llamado la atención

son las galerías de desagüe. El desagüe era imprescindible dada la profundidad en la que se manejaba el minero romano, y sin un sistema eficaz hubiera sido imposible la continuidad de los trabajos por la inundación de los mismos, a lo que hay que unir que el agua ácida que se acumulaba en el interior de estas minas es altamente corrosiva, y podía afectar tanto a los mineros como a las herramientas. Como medida de protección en algunas minas se han encontrado protectores de esparto, para la cabeza, las rodillas, etc. Para soportar el calor en estas zonas próximas a los sulfuros primarios, la indumentaria minera es muy parecida a la que se utilizaba en la contramina en el siglo XIX, un simple taparrabos, que en algunos relieves encontrados en las minas hispanas estaría formado por un faldón con launas.

Los sistemas de desagüe en las minas del suroeste no difieren de los empleados en otras zonas, y se ha destacado en exceso el uso de ingenios que proceden de la ingeniería helenística, como la noria (*rota aquaria*), los tornillos de Arquímedes, las bombas de

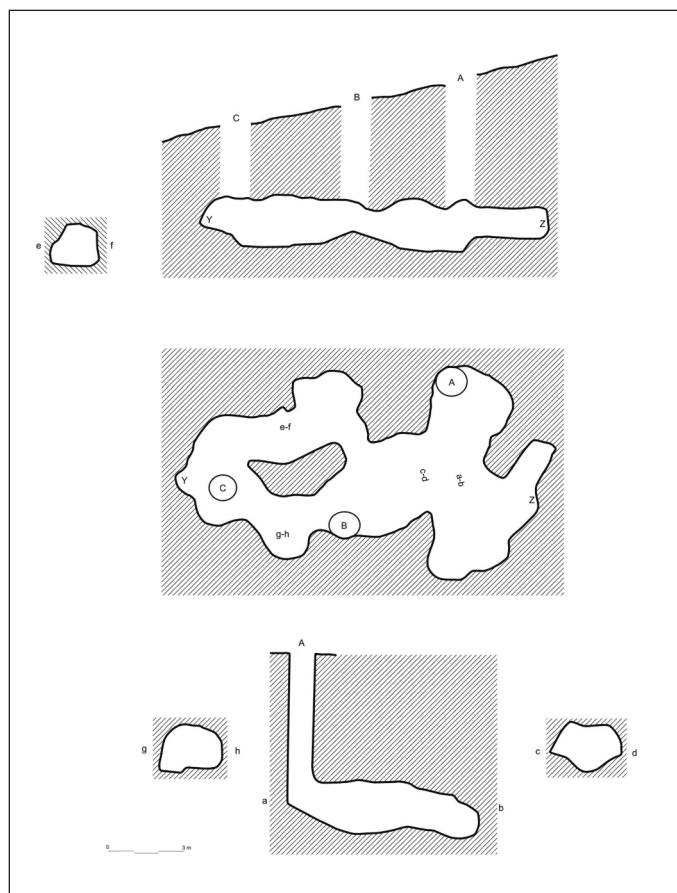


Figura 14. Planimetría de una cueva romana de Tharsis
Figure 14. Plan of a Roman cave at the Tharsis mine

Ctesibio, o la polea de Cangilones (Luzón, 1968); (Weissberger, 1979); (Bienkowski, 1987); (Domergue, 1999); (Domergue *et al.*, 2004), (Ojeda, 2006), de los que estas minas han aportado los ejemplares más completos, como la Bomba de Ctesibio y Tornillo de Arquímedes de Sotiel Coronada, y las norias de Riotinto, Tharsis y São Domingos. Pero estos instrumentos sólo se utilizaban en aquellos puntos en los que la minería bajaba a cotas inferiores al nivel freático y no había posibilidad de sacarla al exterior por otros medios. El procedimiento más usual son las galerías inclinadas de desagüe (*ternagil*), una labor que sacaba el agua acumulada en el interior a una cota inferior en el exterior, de tal forma que el agua fluía por su propio impulso. Las tablas de Aljustrel destacan la importancia de esta galería, de la que dependía toda la ingeniería minera, y se obligaba a todos los concesionarios a no labrar galerías en sus proximidades que pudieran dañarla. Muchas de estas galerías serían utilizadas en los siglos XVIII y XIX para explorar los yacimientos, pues llevaban directamente

a la masa mineral. En Riotinto Rúa Figueroa nos da el nombre de algunas de ellas, tanto las que desaguan por el costado norte como el costado sur de la "Cimada de Riotinto" (Sierra del Mineral), entre ellas la Cañería Alta del Escudo del Carmen o de San Roque, la Cañería Baja del Escudo del Carmen o de San Luís, y las Galerías de San Dionisio, Fuente del Mal Año, de San Pedro, etc. Es significativo que en una de ellas, la Cañería de Nerva, relacionada con la zona de Filón Norte, se localizara una placa de bronce dedicada al emperador Nerva por el procurador *Pudens* (Fernández Posse y Sánchez Palencia, 1996), una prueba de que este tipo de labores son responsabilidad de la administración imperial. El caso más anecdótico de estas galerías de desagüe es la galería de Filón Sur de Tharsis, la Galería Sabina, utilizada por el ingeniero francés E. Deligny para la reapertura de esta mina en el siglo XIX, con tan mala fortuna que siguiéndola pasó por debajo de la masa mineral sin descubrirla, lo que provocó su ruina. Otros ejemplos estudiados son las galerías de Los Cepos y Aguas Agrias en Silos de Calañas, y la Galería Transtagana en Aljustrel. Desde el punto de vista tipológico han se las denomina galerías de "caja de muerto" por su forma rectangular perfectamente tallada y por sus dimensiones para un acceso cómodo y rápido. Algunas de ellas presentan un canal (*rivus*) central para conducir el agua, mientras los resaltes exteriores permitían el acceso para su mantenimiento. Todo su recorrido está señalado al exterior por medio de pozos a intervalos regulares, muchos de ellos con brocal de mampostería.

En la minería filoniana de Ossa Morena se utilizan todas esas técnicas mineras, pero como ya se indicó, a veces la labor es un simple trinchera que recorre el desarrollo horizontal del filón, y se combinan con la técnica de galería y anchurones cuando el enriquecimiento buza a más profundidad, por lo que a veces esta minería de trinchera-anchurón tiene estrechas zonas de extracción al aire libre y pequeñas galerías que desembocan en cámaras o anchurones.

La continuidad tecnológica en épocas medieval y moderna

Hasta hace pocos años era impensable reconocer minería en época medieval, sobre todo por la falta de registros metalúrgicos medievales en las minas, donde todos los escoriales se asignan a época romana, a pesar de la falta de indicadores cerámicos en muchos de ellos. Se seguía en esto la corriente de opinión de los ingenieros de minas del siglo XIX, que descartaban una minería medieval. A lo más, algunos

de ellos señalaban que los pequeños pozos cuadrados eran medievales y los redondos de época romana, pero esta apreciación se ha demostrado como falsa, ya que esta tipología de pozos depende de la necesidad o no de entibación; los pozos cuadrados pueden forrarse con láminas de madera y eran los preferidos en terrenos blandos, mientras los pozos circulares, más difíciles de forrar, se utilizaban en minerales más duros que no era preciso entibar.

Sin embargo, sigue siendo problemático clasificar como medievales algunas de estas labores, porque por la falta de otros indicios cronológicos lo mismo pueden ser romanas que medievales. Por ahora el mejor indicio de que en época medieval hubo minería son los yacimientos medievales que se encuentran en las minas, pues en los escoriales y las labores sin cerámicas es dificultoso determinar su cronología. Entre estos asentamientos medievales pueden citarse el Castillo Viejo de Salomón (Riotinto), de época almohade, el Castillo de Buitrón (Buitrón) y la Castillejita (Cueva de la Mora) (Pérez Macías, 1999).

Que hubo minería y conocimiento metalúrgico es evidente por algunos yacimientos dedicados a la producción metálica, como Llano de la Torre en Aroche (Pérez Macías, 2008), Saltés en Huelva, (Traut, 1996), el Cabezo de la Mina en Lucena del Puerto) (Pérez Macías, 2002a), y la Cerca Alta (Cerro de Andévalo) (Pérez Macías, 2002b), y las minas de hierro del distrito de El Pedroso (Sevilla) (Pérez *et al.*, 2010). En ellos se sigue idéntica tecnología metalúrgica que en época romana, hornos de sangrado y grandes lupias de equilibrada composición fayalítica. Desde los primeros estudios para sistematizar la explotación metalúrgica medieval (Carbonell, 1929), la investigación ha permitido documentar que yacimientos minero-metalúrgicos son cada vez más numerosos para este período (Canto y Cressier, 2008)

Las evidencias mineras también comienzan a conocerse, a medida que utilizamos otros métodos de datación más seguros, como las cronologías absolutas, que han demostrado trabajos de minería en la masa Algares de Aljustrel. Además en Riotinto se han encontrado candiles islámicos en algunas labores. Si no existen diferencias significativas desde el punto de vista metalúrgico en el tratamiento y producción de los minerales, ¿cómo plantear atrasos en los sistemas de extracción? A falta de labores que puedan ser situadas de manera inequívoca en época medieval, las técnicas mineras se emplean también en yacimientos no mineros, en el trazado de silos y cámaras subterráneas de almacenamiento, como las que hemos estudiado en el asentamiento de La Barrera (Bonares), completamente acribillado de estas estructuras subterráneas, y allí se encuentran junto a las

cerámicas almohades de almacenamiento todos los rasgos que definían a la minería romana, pequeñas galerías de exploración, pozos circulares con entalles en las paredes, lucernarios para los candiles en las paredes de las galerías, y cuevas. Este caso demuestra que no se había perdido la tradición de la ingeniería minera romana, y que a la hora de clasificar como romana algún tipo de labor minera habría que ser cautos si no existen otros elementos de juicio que la propia tipología.

Y es que este tipo de minería romana de galerías, pozos, cuevas, y pisos se mantiene hasta el siglo XIX, hasta que en las grandes minas hace aparición el sistema de huecos y pilares, pero continúa en minas más pequeñas y en compañías menos profesionales. Hemos tenido la oportunidad de ver muchas de estas labores del siglo XIX, y si no fuera porque sus denuncios y planos están recogidos en los archivos, hubieran pasado por romanas. Si no existen en las paredes agujeros de los tacos de explosivos, sólo conozco un método eficaz para diferenciarlas, las galerías del siglo XIX se presentan contrafilón (cruceiros), empiezan fuera de la mineralización y la cortan a profundidad para conocer la riqueza del enriquecimiento secundario, y las labores romanas, salvo el plano inclinado de desagüe, son labores que nunca abandonan el cuerpo de la mineralización, se interrumpen donde empieza la roca de caja.

Referencias

- Anciola, A. y Cossio, E. 1856. *Memoria sobre las Minas de Riotinto*. Madrid.
- Bienkowski, P. 1987. The Sotiel Coronada Archimedes Screw in Liverpool reexamined, *Madrid Mitteilungen*, 28, 135-140.
- Blázquez, J. M., Domergue, C. y Sillières, P. 2002. *La Loba (Fuente Obejuna, province de Cordoue, Espagne): La mine et le village minier antiques*. Bordeaux.
- Canto, A. y Cressier, P. (dirs.) 2008. *Minas y metalurgia en al-Andalus y Magreb occidental. Explotación y poblamiento*, Collection de la Casa de Velázquez, 102, Madrid.
- Carbonell y Trillo Figueroa, A. 1929. La minería y la metalurgia entre los musulmanes en España, *Boletín de la Academia de Córdoba*, XXV, 44-217.
- Cauuet, B. 2004. Apport de l'archéologie minière à l'étude de la mise en concessions des mines romaines aux II^e et III^e siècles. L'exemple de Vipasca (Aljustrel, Portugal) et d'Alburnus Maior (Roia Montan, Roumanie). En : Gorges, J.G., Cerrillo, E. y Nogales, T. (eds.), *V Mesa Redonda Internacional sobre la Lusitania Romana : Las comunicaciones*, Cáceres, 33-60.
- Cauuet, B., Domergue C. y Dubois, C. 2002. Mine d'Aljustrel (Portugal), fouilles archéologiques dans les anciens réseaux miniers des Algares, *Mineração no Baixo Alentejo, II*, Castro Verde (2002), 38-88.

- Domergue, C. 1983. *La mine antique d'Aljustrel (Portugal) et les Tables de Bronze de Vipasca*, Paris.
- Domergue, C. 1990. *Les mines de la Peninsule Ibérique dans l'antiquité romaine*, Collection de l'École Française de Roma, 127, Roma.
- Domergue, C. 1990. Les techniques minières antiques et le *De re Metallica* d'Agricola, *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, II, Madrid, 76-95.
- Domergue, C., Binet C. y Bordes, J. L. 1999. La roue de São Domingos, *La Revue, Musée des Arts et Métiers*, 27, 49-59.
- Domergue, C. y Bordes, J. L. C. 2004. La roue élévatoire de la mina romaine de Tharsis (Huelva). Étude archéologique et technique de ce type de roue, *Problemi di machinismo in ambito romano*, Como, 49-97.
- Elhuyar, F. 1823. Relación de las Minas de Cobre de Río - Tinto. Madrid.
- Ezquerro del Bayo, J. 1852. *Memorias sobre las Minas Nacionales de Río-Tinto*. Madrid.
- Fernández Posse, M^a. D. y Sánchez Palencia, F. J. 1996. Riotinto: la antigua memoria desde la actualidad. *Clásicos de la Arqueología de Huelva*, 6, Huelva.
- Gallardo, J.L., Mansilla, L., García, G. y Blanco, A. 1995. Minería romana en la región sisaponense, *XXIII Congreso Nacional de Arqueología*, II, Elche, 77-88.
- García Palomero, F. 1980. *Caracteres geológicos y relaciones morfológicas y genéticas de los yacimientos del Anticlinal de Riotinto*. Instituto de Estudios Onubenses "Padre Marchena", Excma. Diputación Provincial de Huelva.
- Gonzalo Tarín, J. 1888. *Descripción física, geológica y minera de la provincia de Huelva*, Memorias de la Comisión del Mapa Geológico de España, Madrid.
- Luzón Nogué, J. M^a. 1968. Sistemas de desagüe en las minas romanas del suroeste peninsular, *Archivo Español de Arqueología*, 41, 101-120.
- Mergulho, R. et al. 2001. Topografía das Minas Romanas de Valongo, *Trogle*, mayo 2001, 15-18.
- Nash, N. G. 1904. *The Río Tinto Mine. Its History and Romance*, London.
- Nocete Calvo, F. (ed.) 2004. *Odiel. Proyecto de Investigación Arqueológica para el Análisis del Origen de la Desigualdad Social en el Suroeste de la Península Ibérica*, Arqueología Monografías, Sevilla.
- Ojeda Calvo, R. 2006. La Rota del Museo de Huelva: apuntes sobre el origen, adscripción, uso y funcionalidad de una rueda para evacuación de agua hallada en Minas de Riotinto, *La rueda elevadora de agua de las minas de Riotinto: memoria de intervención*, PH Cuadernos, 18, Sevilla.
- Palmer, R. E. 1926-27. Notes on some ancient mining equipments and system, *Transactions of the Institution of Mining and Metallurgy*, 31, 299-336.
- Pellicer, M. y Hurtado, V. 1980. *El poblado metalúrgico de Chínflón (Zalamea la Real, Huelva)*, Sevilla.
- Pérez Macías, J. A. 1996. *La metalurgia extractiva prerromana en Huelva*, Huelva.
- Pérez Macías, J. A. 1998. *Las Minas de Huelva en la antigüedad*. Diputación de Huelva.
- Pérez Macías, J. A. 1999. Cerro Salomón y la minería hispanomusulmana en Garb Al-Andalus, *Arqueología Medieval*, 6, Porto, 19-39.
- Pérez Macías, J. A. 2002a. La herrería califal-taifa del Cabezo de la Mina (Lucena del Puerto, Huelva), *Spal*, 11, 419-433.
- Pérez Macías, J. A. 2002b. La explotación metalúrgica. La Cerca Alta (Cerro de Andévalo). En: Pérez Macías, J.A. (ed.) *El Territorio Medieval, II Jornadas de Cultura Islámica*, Huelva, 9-27.
- Pérez Macías, J. A. 2006. *La Huella de Roma*. Huelva.
- Pérez Macías, J. A. 2008. La producción metalúrgica en el suroeste de al-Andalus. En: Canto, A. y Cressier, P. (dir.), *Minas y metalurgia en al-Andalus y Magreb occidental. Explotación y poblamiento*, Collection de la Casa de Velázquez, 102, Madrid, 179-209.
- Pérez, J.A., Gómez, F., Álvarez, G. y Flores, E. 1991. *Documentación de la minería antigua en las minas de Riotinto*, Huelva.
- Pérez, J.A., Ovejero, G. y Schattner, TH. 2010. Explotación medieval de hierro en la comarca de El Pedroso (Sierra Norte, Sevilla). En: Pérez, J.A. y Carriazo, J.L. (eds.), *Estudios de Minería Medieval en Andalucía*, Huelva, 39-62.
- Rúa Figueroa, R. 1859. *Ensayo sobre las minas de Riotinto*, Madrid.
- Rúa Figueroa, R. 1868. *Minas de Río-Tinto: Estudio sobre la explotación y beneficio de sus minerales*. Madrid.
- Traut, N. 1996. Les produits métallurgiques du site médiéval de Saltés (Huelva, Andalousie), *Archéologie islamique*, 6, 77-88.
- Urteaga Artigas, M^a. M. 1997. Minería romana en Guipúzcoa, *Isturitz*, 8, 491-515.
- Viana, A., Freire D'andrade, R. y Da Veiga Ferreira, O. 1954. *Minerações Romanas de Aljustrel, Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal*, XXXV, 79-92.
- Weisgerber, G. 1979. Das römisches Wasserhebebad aus Río Tinto in Spanien im British Museum London, *Der Anschnitt*, 31 (1979), 62-80.
- Willies, L. 1997. Roman mining at Río Tinto, *Bulletin of the Peak District Mines Historical Society*, 13, 3, 1-30.

Recibido: febrero 2010

Revisado: marzo 2010

Aceptado: mayo 2010

Publicado: enero 2011

