



CONTEXTO GEOARQUEOLÓGICO DE LOS SISTEMAS DE MOLIENDA DEL CUARZO AURÍFERO EN LA MINERÍA ROMANA DEL NOROESTE DE IBERIA

Geoarchaeological context of gold quartz milling systems in Roman mining in the Iberian northwest

Roberto Matías Rodríguez

SEDPGYM. Avda Nocedo 3, 3º B, 24007 León
matiasr.roberto@gmail.com

Resumen: La minería aurífera romana del noroeste ibérico se caracteriza por las extensas explotaciones hidráulicas y redes kilométricas de canales dejadas con profusión a lo largo y ancho de este singular territorio. La concentración gravimétrica simple fue el método de trabajo aplicado en la recuperación del oro. Sin embargo, la explotación de los numerosos yacimientos auríferos primarios existentes en este entorno supuso un desafío diferente, ya que el oro debía de ser liberado de la matriz que lo contenía, generalmente cuarzo o rocas silicificadas. Este aspecto ya fue recogido en el texto del naturalista romano Plinio el Viejo (PLIN.Nat.33.69), indicando incluso una terminología específica. La molienda era efectuada mecánicamente empleando morteros realizados en materiales rocosos seleccionados por sus características mecánicas, muchos de los cuales procedían del entorno geológico inmediato, si bien, se constata la traslación de algunos materiales desde decenas de kilómetros, incluso cientos, en casos concretos. En este trabajo se ponen de manifiesto por primera vez con una visión de conjunto las características principales de los materiales geológicos utilizados sistemáticamente en la molienda del cuarzo aurífero, estableciendo una relación entre la disponibilidad en el entorno geológico y las explotaciones auríferas romanas, así como los criterios de selección para ser integrados en el proceso de molienda.

Palabras clave: minería oro romana, molinos cuarzo aurífero, noroeste Iberia.

Abstract: Roman gold mining in the Iberian northwest stands out for the footprint resulting from the extensive hydraulic operations and kilometer networks of canals left in profusion throughout the length and breadth of this unique territory. The simple gravimetric concentration was the working method applied in the recovery of gold from these deposits, either in alluvial sediments or in oxidation zones (eluvial) of primary deposits, without the intervention of any other treatment than separation by densities in some washing channels. However, the mining of the numerous existing primary gold deposits in this environment posed a different challenge, since the gold had to be released from the matrix that contained it, generally quartz or silicified rocks, which are characterized by exceptional resistance when crushed to be reduced to powder. This aspect was already included in the text of the Roman naturalist Pliny the Elder (PLIN.Nat.33.69), even indicating a specific terminology. The milling was carried out in two different processes in which rock materials selected for their mechanical characteristics, some of which came from the immediate geological environment, although the transfer of some materials from tens of kilometers, even hundreds, in specific cases. In this work they are revealed for the first time with an overview of the main characteristics of the geological materials used systematically in the milling of gold-bearing quartz, establishing a relationship between the availability in the geological

environment and gold mining, as well as the selection criteria to be integrated into the milling process.

Keywords: *roman gold mining, gold-bearing quartz mills, Iberian northwest.*

Matías, R. 2025. Contexto geoarqueológico de los sistemas de molienda del cuarzo aurífero en la minería romana del noroeste de Iberia. *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 38 (2): 33-45.

Introducción

La explotación de los yacimientos auríferos primarios constituye desde el origen de la minería uno de los más importantes desafíos tecnológicos en donde es necesario aplicar unos sistemas de molienda que consumen numerosos recursos debido a la dureza de los materiales y el reducido tamaño del producto a recuperar. Lo que actualmente se realiza con relativa facilidad gracias a sistemas mecánicos que emplean aleaciones metálicas de gran dureza y potentes accionamientos mediante energía eléctrica, hace 2000 años era una ardua y difícil tarea que dependía de la acertada elección de materiales rocosos naturales con los que quebrantar las duras menas para liberar las partículas de oro y proceder a una concentración gravimétrica convencional.

A comienzos de la década del 2000 el concepto arqueológico de las explotaciones auríferas romanas del NO Ibérico en un yacimiento primario se encontraba muy lejos de la realidad. Algunos autores interpretaban las bases de molinos múltiples como elementos de una instalación de lavado por gravedad (Sánchez-Palencia, 1985; 2006). No obstante, el descubrimiento del complejo de minería aurífera romana subterránea de Llamas de Cabrera (2008) y los estudios multidisciplinarios realizados en las minas del entorno de Porto (Lima *et al.*, 2010) comenzaron a aportar una visión más adecuada a las evidencias del terreno, donde se ponía de manifiesto el elevado grado de desarrollo alcanzado por los romanos en la explotación de los yacimientos auríferos primarios, definiéndose por vez primera la existencia de trabajos mineros muy estructurados y acordes a las especiales circunstancias geológicas de estos yacimientos (Matías, 2010).

En las dos últimas décadas ha podido determinarse un denominador común en las explotaciones romanas sobre yacimientos auríferos primarios que son los sistemas de molienda del cuarzo aurífero mediante la utilización de lo que más modernamente se llegaría a conocer como “molinos de pilones” o “bocartes” (Fig. 1). En época romana las bases principales de los molinos de cuarzo aurífero fueron materiales rocosos seleccionados por su dureza y resistencia, combinados con molinos rotativos para dar un acabado final que liberase definitivamente las partículas de oro, en donde los materiales eran también cuidadosamente seleccionados, teniendo que ser algunos transportados en ocasiones varios centenares de kilómetros hasta los centros de uso.

Aunque todavía hay importantes cuestiones por dilucidar, como el aprovechamiento metalúrgico de menas primarias con oro no visible, el posible uso del mercurio



Fig. 1.- Base de molino de impacto múltiple reaprovechada en un muro actual. Tresminas, Portugal.

en los procesos de recuperación, etc., en este momento estamos en condiciones de afirmar que, salvo raras excepciones, los romanos acometieron una explotación integral de todos los tipos de yacimientos auríferos, primarios y secundarios, que se encuentran en el NO ibérico (Fig. 2), marcando un antes y un después en la historia de la minería mundial (Matías, 2021). No solo en las técnicas de minería hidráulica llegó a existir una tecnología común y específica según el tipo de depósito a explotar, sino que también en la minería en yacimientos primarios se desarrolló de igual modo una tecnología común y característica, que es el objeto de este trabajo.

Geología de los yacimientos de oro

El oro es probablemente uno de los primeros metales que conoció y utilizó la Humanidad debido a que se encuentra directamente en estado metálico en la naturaleza, a su inalterabilidad y a que posee un atractivo color amarillo. Por su presencia en partículas visibles en los lechos de algunos ríos (“pepitas”), desde el inicio de los tiempos ha llamado poderosamente, sin duda, a la curiosidad humana.

La inalterabilidad del oro frente a los agentes atmosféricos, conservando todo su brillo y lustre, le convirtió históricamente en el “rey de los metales”. De hecho, el “agua regia” (mezcla de ácidos nítrico y clorhídrico 1:3) recibe su nombre por la capacidad de disolver el oro.

Resulta llamativo el contenido en oro del agua marina. Los océanos esconden más de 20.000.000 de toneladas de oro, si bien, para obtener un solo gramo de oro sería necesario procesar 250.000 m³ de agua. Hasta la fecha no se ha

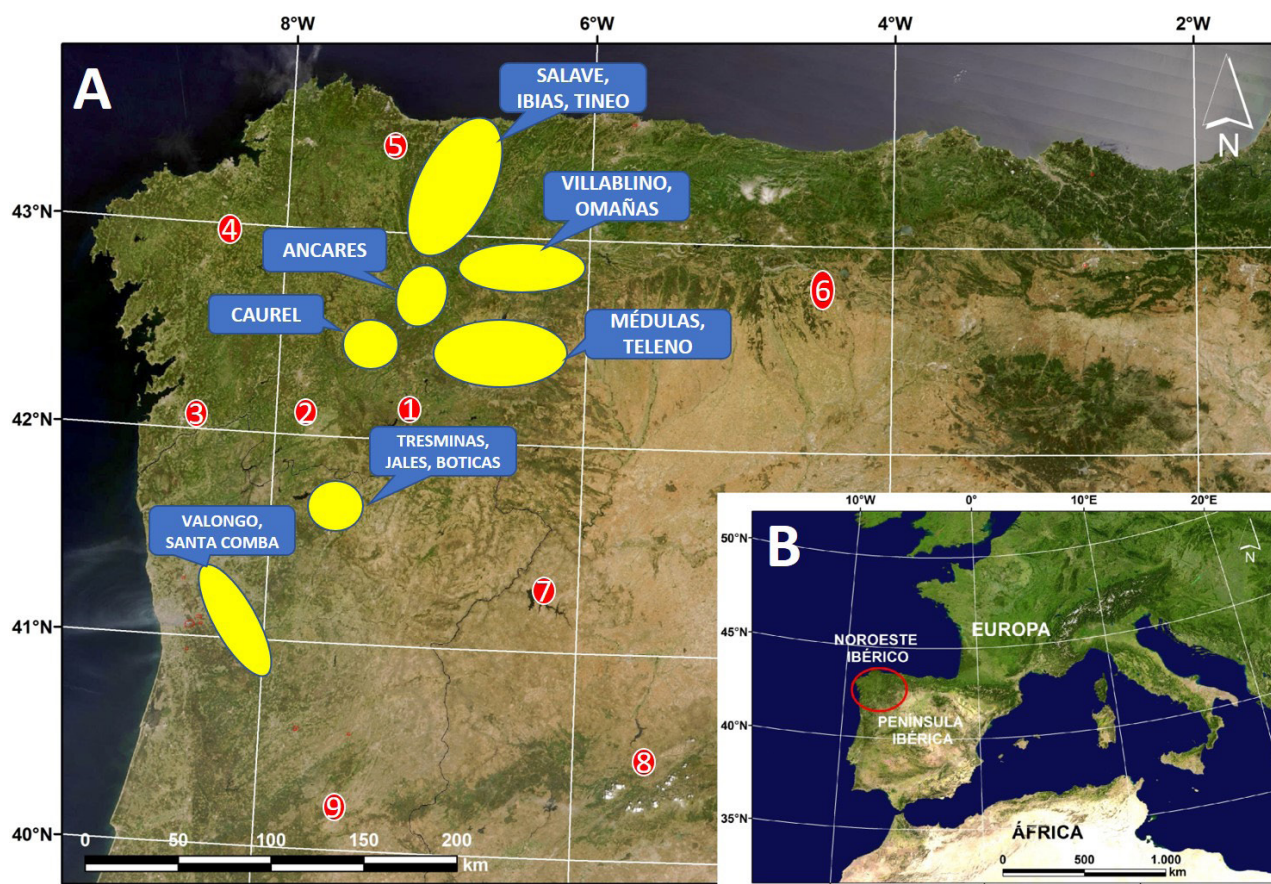


Fig. 2.- A. Localización de las principales zonas de minería aurífera romana del NO ibérico (amarillo) y otros enclaves significativos (rojo): 1. As Borreas de Caldesinhos (Viana do Bolo-Orense), 2. Os Milagros de Monte Medo (Orense), 3. Tomiño (Pontevedra), 4. Corcoesto (A Coruña), 5. A Mariña (Lugo), 6. Velilla del Río Carrión (Palencia), 7. Pino del Oro (Zamora), 8. Las Cavenes (Salamanca), 9. Vila Velha de Rodão (Portugal). B. Localización del área de estudio en el contexto de Europa.

conseguido ningún tratamiento que resulte rentable.

La abundancia media del oro en la corteza terrestre (0,005 ppm) es reducida frente a otros elementos de su mismo grupo como el cobre (50 ppm) o la plata (0,07 ppm) y equiparable a la del platino (0,005 ppm).

Yacimientos primarios

El oro como elemento metálico natural se encuentra en multitud de ambientes geológicos de formación de yacimientos minerales primarios, relacionados principalmente con los ámbitos magmáticos e hidrotermales, asociado a grandes episodios orogénicos. A medida que se profundiza en el conocimiento de los yacimientos primarios de oro aparecen nuevas hipótesis sobre su formación, donde va cobrando especial interés la circulación profunda de fluidos que van drenando el oro de las rocas que atraviesan para depositarlo luego en lugares específicos, condicionados estructural y químicamente. La abundancia de ambientes hace difícil una clasificación uniforme, hasta el punto de que cada gran yacimiento podría, por su específica tipología, representar un ambiente único (Krestschmar y McBride, 2016). *Grosso modo*, se podrían establecer dos grandes grupos de yacimientos primarios claramente diferenciados (Ridley, 2013): magmáticos e hidrotermales

Ambos grupos se encuentran íntimamente relacionados con la actividad tectónica y el gradiente geotérmico. Por lo general, el oro se encuentra nativo, pero también es un componente accesorio de muchos yacimientos polimetálicos de los que actualmente se extrae como subproducto. El 50 % de la producción mundial de oro actual procede de conglomerados cementados con cuarzo y otros minerales, de los que el mejor ejemplo son los de Witwatersrand, en Sudáfrica.

Resultan especialmente interesantes las formaciones hidrotermales de oro conocidas como “oro orogénico” (Fig. 3) que alcanzan a suministrar actualmente el 30 % de la producción mundial. Estos yacimientos están relacionados con la circulación de aguas magmáticas y/o meteóricas en zonas de metamorfismo regional de grado medio-bajo, depositándose oro nativo como metal principal, generalmente asociado a As y, eventualmente, Sb (Groves *et al.*, 1998; Large *et al.*, 2011). La plata acompaña con frecuencia también al oro, pero en cantidades sensiblemente inferiores a las que se registran en otros ambientes metalogenéticos. Las presiones de formación de estos depósitos varían desde 1,5 a 5 kbar, lo que representa profundidades de 4 a 15 km en la corteza, si bien, las temperaturas se mueven en un rango de 300°-450° C, inferior a la de los yacimientos magmáticos. Por lo general son depósitos de pequeño tamaño (alrededor de 1Mt de mineral) y dispersos, si bien son susceptibles de explotación minera a pequeña escala.

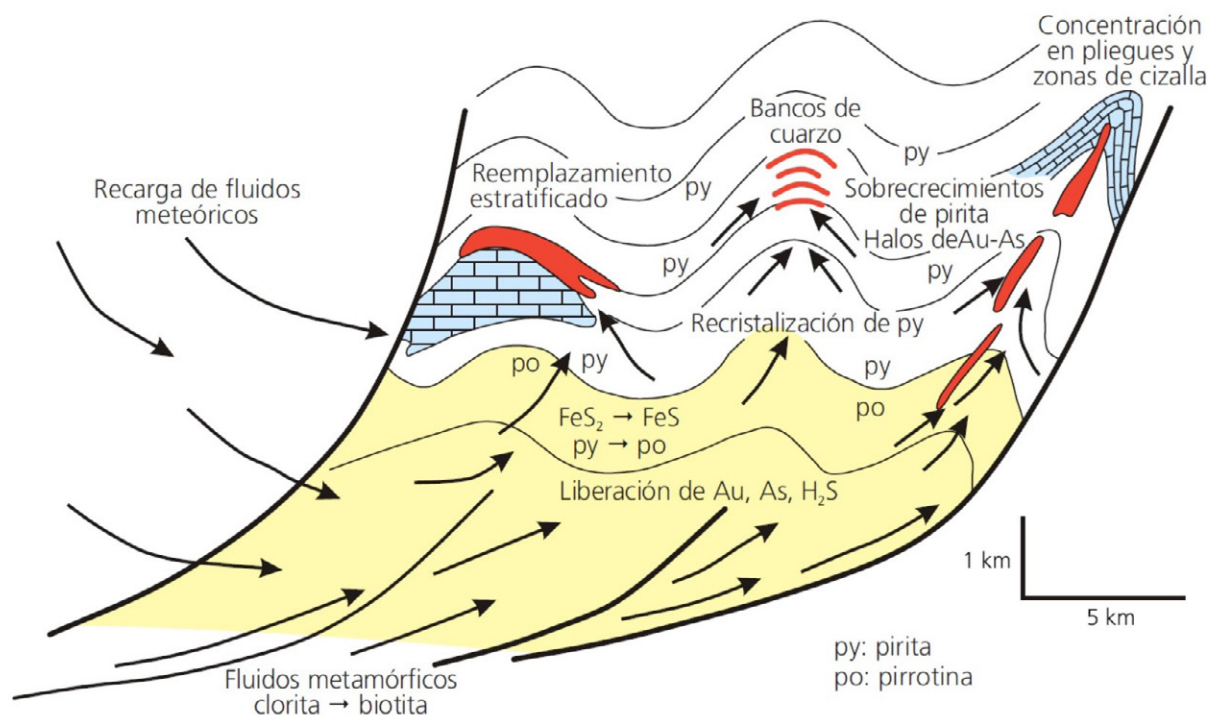


Fig. 3.- Circulación de fluidos en la formación de los yacimientos de “oro orogénico”. Modificado de Large *et al.*, 2011.

Yacimientos secundarios

La meteorización natural de los yacimientos auríferos primarios libera cantidades significativas de oro a lo largo de miles de años, lo que da lugar a que se produzcan en la mayoría de los casos concentraciones de oro apreciables en ambientes geológicos específicos (Fig. 4.), caracterizados en su mayoría por la presencia de partículas visibles de este metal. Estas concentraciones reciben el nombre genérico de “placer”, vocablo de origen hispano, internacionalmente aceptado.

Según su origen, los yacimientos auríferos secundarios (“placers”) se pueden dividir en los siguientes grupos (Macdonald, 1983): continentales (eluviales, coluviales, aluviales, fluviales, glaciales, desérticos); transición (línea de costa, eólicos, deltaicos); marinos (inmersiones de las líneas de costa).

Los depósitos tipo placer se caracterizan por su extensión horizontal y una marcada irregularidad en las tres direcciones del espacio. Esto es debido al papel fundamental que tienen las direcciones e intensidad del flujo de agua en la concentración de los minerales pesados. En líneas generales, son especialmente interesantes por su riqueza aquellos placeres formados por la removilización de otros preexistentes.

El estudio científico en profundidad de la geología de los placeres aluviales es relativamente reciente y tiene sus inicios fundamentales en las investigaciones realizadas por el geólogo ruso Bilibin, plasmadas en la obra *Fundamentals of Placer Geology* (1937) sobre las experiencias adquiridas en los yacimientos de oro aluviales de la antigua Unión Soviética. Trabajos más recientes han continuado

investigando en el complejo tema de los placeres fluviales (Buisikh, 2015).

Dentro del NO ibérico predominan los yacimientos variscos primarios mesotermales de tipo filoniano que por meteorización natural han dado lugar a un amplio abanico de enriquecimientos eluviales y yacimientos secundarios aluviales y fluviales (Fig. 5). La extensión de estos yacimientos secundarios varía desde apenas una hectárea a varios kilómetros cuadrados, con espesores que pueden llegar a alcanzar el centenar de metros, superado en algunos casos, como en Las Médulas.

Los yacimientos primarios filonianos de esta área están en relación con las grandes estructuras tectónicas que son las que han permitido, bien el ascenso y emplazamiento de cuerpos ígneos intrusivos, bien la circulación de fluidos hidrotermales portadores de las mineralizaciones, o ambos factores. Consisten básicamente estos yacimientos en filones de cuarzo de espesor decimétrico con arsenopirita como sulfuro principal. Se trata de yacimientos de “oro orogénico” que presentan un modelo común que engloba todos los yacimientos de filones auríferos mesotermales del Cinturón Varisco Europeo, basado en el ascenso de fluidos mineralizados de origen profundo a través de importantes estructuras tectónicas y que se mezclan finalmente con otros fluidos de origen superficial durante las etapas tardías de levantamiento y exhumación de la cordillera. Los cambios en las condiciones del medio durante el recorrido ascendente de los fluidos hidrotermales mineralizados provocan una disminución de la solubilidad del oro, lo que ha dado lugar a su deposición.

Los principales tipos de mineralización se encuentran encajados en rocas detríticas de edad Cámbrico inferior y

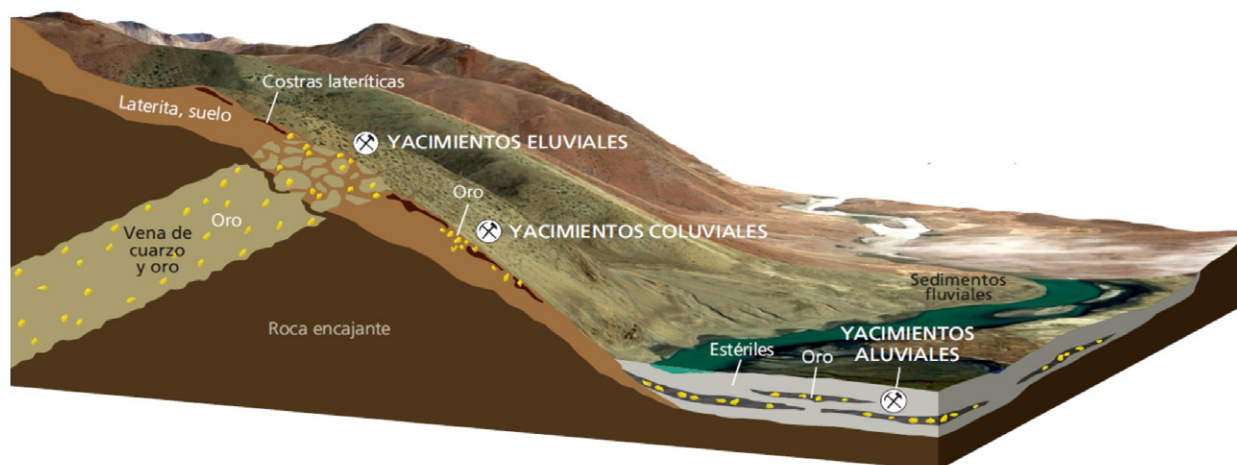


Fig. 4.- Tipologías básicas de los yacimientos de oro primarios (filones de cuarzo) y secundarios. Dibujo: Rodrigo Castaño De Luis.

Silúrico, aunque la mayor concentración de indicios de oro se produce en las cuarcitas y areniscas de la Serie de Los Cabos (Cámbrico medio-Tremadoc)

La explotación de los yacimientos de oro primarios en época romana

A diferencia de otros campos como la arquitectura o la agricultura romanas, no ha llegado hasta nosotros un texto con un tratado que contemple específicamente y con amplitud suficiente las técnicas de trabajo utilizadas en las explotaciones mineras romanas. Sin embargo, el análisis de las evidencias conservadas sobre el terreno nos aporta abundantes y sorprendentes datos sobre el grado de planificación y las distintas soluciones técnicas utilizadas para la explotación masiva y sistemática de los yacimientos de oro durante la época romana.

En la mayoría de las sustancias, un continuado interés a lo largo del tiempo en los yacimientos minerales ha desfigurado o enmascarado por completo los trabajos de minería romana y otros. Sin embargo, para el caso del oro, por las especiales características de su minería, podemos todavía hoy contemplar los restos de las explotaciones mineras prácticamente en el mismo estado en que fueron abandonadas, convirtiéndose así estas en el más fiel testimonio de la ingeniería minera romana. La minería aurífera romana sorprende desde todos los puntos de vista por el extraordinario grado de perfección alcanzado, tanto en la localización de los yacimientos, como en la capacidad de explotarlos.

Se encuentran numerosas referencias documentales en los textos antiguos que citan específicamente las grandes riquezas auríferas del noroeste hispano. Aunque con distintos grados de profundidad y precisión, los escritos de estos autores aportan interesantes datos que ayudan a encuadrar temporal y geográficamente las explotaciones auríferas.

Atendiendo a su amplitud y precisión, desde el punto de vista de la ingeniería de las explotaciones el texto más importante que describe de forma más pormenorizada la minería aurífera romana es el recogido en la obra del naturalista romano Plinio *Naturalis Historia* (PLIN.Nat.33.66-78), sobre la que se ha realizado una completa y revisada

traducción multidisciplinar, que es la utilizado en este trabajo (Pérez y Matías, 2008). Por su cargo como *Procurator* de la Tarraconense en el siglo I, es posible que el propio Plinio llegase a conocer personalmente los grandes trabajos de la minería aurífera romana del NO ibérico. Notablemente asombrado por la magnitud de los trabajos mineros, este autor abordaría desde un punto de vista técnico muchos e interesantes aspectos de las minas de oro (PLIN.Nat.33.68):

68. “*Al oro que se extrae mediante pozos de mina unos lo llaman canalicium, otros canaliense, pues está adherido a los fragmentos de roca marmórea, no de la manera con que brilla el zafiro de Oriente y el de Tebas y otras gemas, sino unido a las partículas de la roca marmórea. Estos filones de los veneros se extienden de acá para allá por los laterales de los pozos, de donde tomó el nombre (sc. canalicium o canaliense), y la roca se sostiene con pilares de madera*”.

Aunque en un orden inferior frente a los grandes trabajos de minería hidráulica sobre yacimientos secundarios, los ingenieros romanos aprovecharon sistemáticamente los yacimientos primarios, a pesar de que generalmente son muy irregulares y de pequeña extensión, presentando casi siempre un desarrollo vertical que complica los trabajos mineros, recurriendo necesariamente a la minería subterránea. En una primera fase, el principal interés de los yacimientos primarios es la zona de oxidación y las acumulaciones eluviales, que pueden ser trabajadas tanto manual como hidráulicamente, siempre en superficie. Cuando la explotación llegaba a la mena primaria inalterada o poco disgregada, los ingenieros romanos se encontraban con la necesidad de una molienda fina del mineral, lo que limitaba mucho la progresión de las labores mineras, que tenían que hacerse generalmente de forma selectiva por minería subterránea para reducir la dilución de la mena.

Esta fue aplicada sólo en aquellos casos donde el número o importancia de los filones de cuarzo aurífero justificaba su utilización, bien por la falta de operatividad de las técnicas hidráulicas utilizadas en las zonas superficiales debido a que alcanzan una roca encajante compacta, que impide su arrastre por el agua, o por la localización muy puntual de las zonas mineralizadas, siempre teniendo en cuenta su progresión en profundidad.

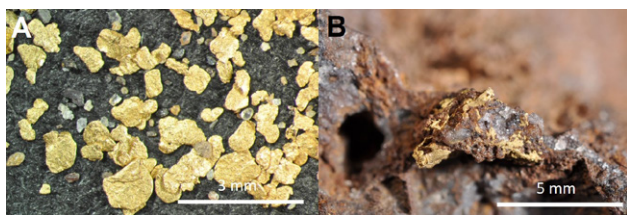


Fig. 5.- Partículas de oro: A. Pepitas de aluviones (río Duerna, León); B. Cuarzo aurífero (Andiñuela, León).

Aunque hasta hace pocos años había sido atribuida con cierta frecuencia la finalidad exclusiva de exploración a la existencia de algunas galerías romanas en yacimientos primarios, al nivel de conocimientos actual es muy evidente la amplia utilización de la minería subterránea en la explotación de yacimientos primarios de oro en el noroeste hispano: Jales-Três Minas (Vila Real, Portugal), Valongo-Sierra de Santa Justa (Porto, Portugal), Llamas de Cabrera (León, España), Montealegre (León, España), Pozos (León, España), etc. (Matías, 2010; 2014a; 2014b; 2021)

Como en cualquier otra minería subterránea de la época, el avance de las galerías y la extracción masiva de mineral aurífero se realizaba mediante herramientas metálicas (maza y punterola enmangadas) cuyas huellas pueden claramente apreciarse por todas partes. La morfología de estas huellas sobre la roca pone de manifiesto que se trata de herramientas generalmente muy afiladas y consistentes.

La iluminación se realizaba mediante lámparas de aceite (lucernas) emplazadas en huecos específicos (lucernarios) excavados en las paredes de las galerías y zonas de explotación a medida que avanzaban los trabajos.

En el arranque de las zonas más duras de los filones de cuarzo aurífero resultaba corriente el uso de fuego y agua (*firesetting* en inglés), claramente atestiguado por las características superficies abovedadas que produce su utilización tras resquebrajarse el mineral de cuarzo o la roca dura por la brusca contracción que experimenta al ser enfriado con agua después de haber sido calentado.

Es también habitual en la mayoría de las explotaciones subterráneas de yacimientos primarios la utilización de pozos verticales para la prospección, acceso y ventilación, así como el trazado de galerías de acceso y drenaje en donde resultaban necesarias por la presencia abundante de agua. Los pozos verticales son especialmente abundantes en el entorno de la ciudad portuguesa de Valongo, donde se encuentra el mayor conjunto mundial de minería aurífera romana subterránea (Matías, 2014b).

El emplazamiento de las galerías principales se sitúa preferentemente en los bordes de los cauces de ríos y arroyos para buscar las cotas inferiores de las mineralizaciones (Fig. 6). En estas galerías se evacúan las aguas por gravedad a través de las cunetas excavadas en los laterales. Algunas galerías tienen incluso su entrada cuidadosamente perfilada, siguiendo un modelo que se repite en diferentes lugares del noroeste, como pueden ser Valongo (Portugal), Montealegre (León) o Molinaferrera (León) (Matías, 2021).

Por norma general podemos considerar que en cualquier yacimiento aurífero primario de cierta importancia se produce inicialmente una explotación superficial del

afloreamiento de las mineralizaciones que puede ser hidráulica (yacimientos eluviales) o manual (filones escasamente alterados). Una vez agotadas las posibilidades de la explotación a cielo abierto se pasaría a una explotación subterránea en profundidad si la continuidad del yacimiento lo permite. Puede constatarse que para los ingenieros romanos no pasó desapercibido el hecho de que la zona de alteración superficial presenta por lo general contenidos auríferos superiores a los de la mena primaria.

Sin embargo, hasta hace poco tiempo, la existencia de redes hidráulicas en este tipo de yacimientos ha llevado a algunos autores a considerar, sin haber profundizado técnicamente en sus conclusiones, que las escasas evidencias de minería subterránea son únicamente labores de investigación (Luzón *et al.*, 1980); incluso se ha llegado a afirmar que este tipo de explotaciones mineras se interrumpían cuando se alcanzaba la mineralización primaria inalterada (Maya, 1990), o que se trata de labores de rapiña, sin mucha importancia cuantitativa dentro del noroeste hispano (Sánchez-Palencia, 2000).

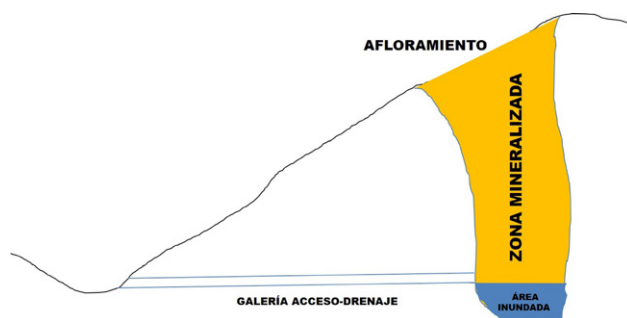


Fig. 6.- Esquema básico de una explotación aurífera romana subterránea.

Sistemas de molienda del cuarzo aurífero

Cuando el material a procesar es la mena primaria en su estado original o escasamente alterada, el oro se encuentra íntimamente ligado al cuarzo o la roca encajante. Es preciso entonces realizar un proceso de molienda que libere las partículas de oro para proceder a su concentración gravimétrica (Fig. 7).

La molienda del cuarzo aurífero en la minería romana tiene ya un amplio precedente documentado en las minas del Egipto faraónico, al menos desde la XII Dinastía (2466-1733 a. C.), recogida en el texto de Diodoro Sículo en el 50 a.C., *Historia* 3, 12-13 (traducción libre sobre la versión inglesa de Del Mar, 1902, pp. 39-43):

“...Los jóvenes que no han alcanzado la pubertad se arrastran a través de los túneles hacia las galerías abiertas en la roca y con gran esfuerzo recogen el mineral para llevarlo de regreso al exterior de la mina al aire libre. Entonces, aquellos hombres de más de 30 años, dividen en porciones la roca extraída por estos jóvenes, colocándola en morteros de piedra golpeándola con mazos de hierro hasta que es reducida a un tamaño menor que las semillas. Las mujeres y los ancianos reciben el polvo de roca de

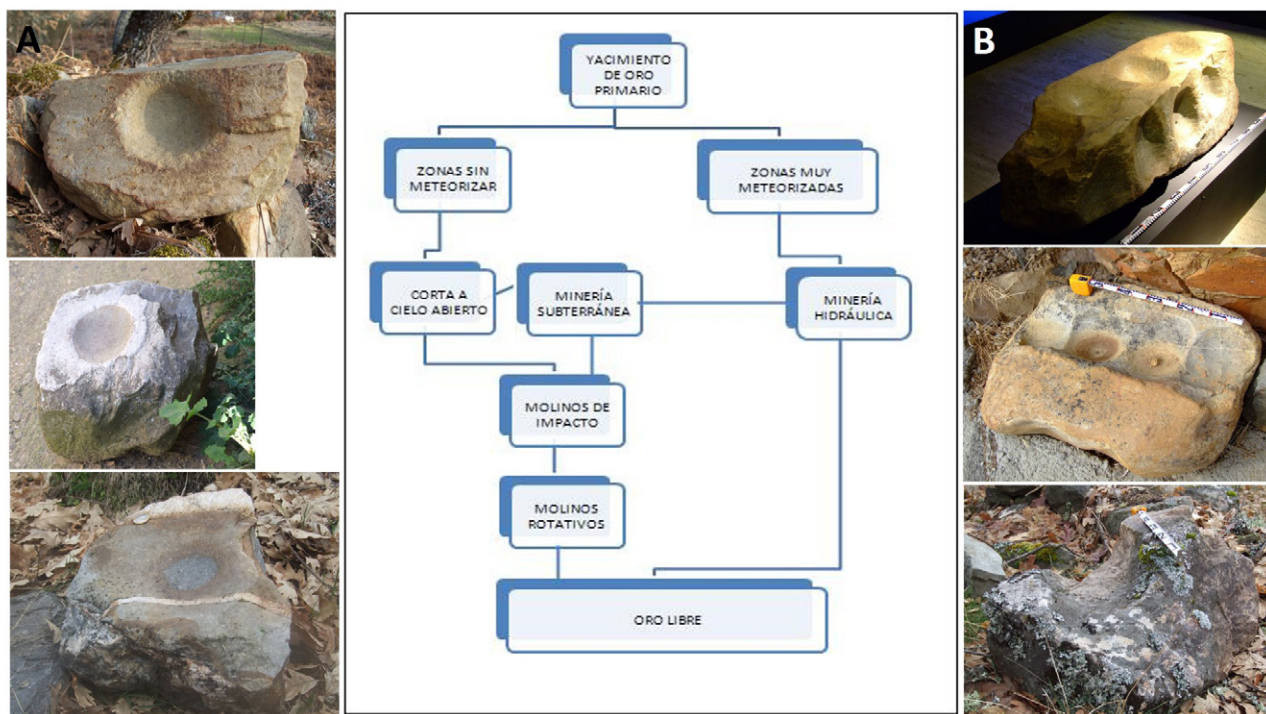


Fig. 7.- Diagrama de la explotación romana de los yacimientos auríferos primarios y diversos ejemplos de bases de molinos de impacto, todos ellos de la provincia de León. A. Molinos individuales, de arriba abajo: Andiñuela, Pozos, Llamas de Cabrera. B. Molinos múltiples, de arriba abajo: Museo de León, Pozos, Andiñuela.

estos hombres, y lo colocan en una serie de molinos. Comenzando con sus manos juntas en grupos de dos o tres, lo muelen hasta que su porción ha sido reducida a la textura de una fina harina..."

La fecha del texto de Diodoro se corresponde con el final del período de la minería egipcia propiamente dicha. Resulta sorprendente la meticulosa descripción de todo el proceso de la extracción minera y el tratamiento metalúrgico de la mena. Destacan, por un lado, las apocalípticas condiciones del trabajo en las minas, que contribuirán a la generalización de la "leyenda negra" que persigue a la actividad minera, precisamente desde esa época. Es necesario separar la condición de esclavitud del propio laboreo en las minas, cuyas condiciones de dureza física inherentes al medio en el que se realizan los trabajos poco habían variado desde sus orígenes en la Prehistoria y que, no obstante, perdurarán todavía durante mucho tiempo hasta la progresiva introducción de la maquinaria de accionamiento mecánico en las minas, lo que sólo tendrá lugar a partir del siglo XIX. Por otro lado, destaca asimismo el elevado grado de estructuración de los trabajos y su optimización, no sólo por la selección de las herramientas e individuos físicamente más apropiados para las distintas tareas, sino por la cualificación de estos como resultado de una especialización en las labores.

La introducción en el proceso metalúrgico de las técnicas de trituración, lavado y concentración sistemáticas del cuarzo aurífero denota ya un profundo conocimiento de la distribución del oro en los yacimientos primarios, la mayoría de las veces prácticamente invisible a simple vista por su tamaño o dispersión, lo que obliga a un seguimiento continuo del proceso de extracción para verificar la pre-

sencia del oro en el cuarzo, permitiendo desechar aquellas zonas de menor riqueza dentro del yacimiento, lo que lógicamente redundará en una notable economía de esfuerzos.

Otro aspecto importante a tener en cuenta es la especialización del utillaje minero que se desprende de este texto, empleando simultáneamente herramientas de piedra y hierro para fines diferenciados, lo que puede ser atribuido a la escasez de este metal para destinarlo a unas aplicaciones en las que los útiles de piedra pueden cumplir todavía perfectamente con algunas de las funciones, como puede ser la trituración primaria del mineral.

Los ingenieros romanos fueron claros herederos de esta tecnología, como se desprende del texto de Plinio (PLIN. Nat.33.69):

69. "Lo que se ha extraído se tritura, se lava, se tuesta y se muele. A la harina resultante le llaman *apiláscude*; a la plata que se obtiene por la acción del horno (sc. le llaman) *sudor*. La impureza que el horno produce en cualquier mena se llama *escoria*, que en el caso del oro se machaca y se funde de nuevo. Los crisoles se hacen de *tasconio*, que es una tierra blanca semejante a la arcilla, pues ninguna otra tierra resiste el fuego avivado por una corriente de aire ni la materia ardiente".

Aunque el texto de Plinio es muy ilustrativo y se sitúa a una significativa distancia de cualquier otra referencia antigua sobre la minería aurífera romana, este no alcanza la profundidad y precisión que serían deseables, a la vez que las traducciones e interpretaciones realizadas por distintos autores han llevado en algunos casos a visiones notablemente contradictorias sobre un mismo pasaje. De todos modos, desde un punto de vista amplio y objetivo, la magnitud, extensión y complejidad de los restos de minería

romana supera con mucho la descripción de Plinio, como ya apuntaba Domergue (1972-74): “*Malhereusement les sources historiques ne sont pas à la hauteur des vestiges archéologiques*”.

Los diversos reconocimientos de campo realizados en los últimos años para la investigación de las técnicas utilizadas en las distintas explotaciones mineras romanas sobre yacimientos auríferos primarios de la provincia de León y otros lugares del NO Ibérico han puesto de manifiesto la existencia de patrones comunes de explotación minera, así como la presencia sistemática de las bases de los molinos utilizados en el proceso de recuperación del oro del cuarzo aurífero, claramente en relación con técnicas mineras no hidráulicas (Matías, 2010), a veces aplicadas después de estas, como pueden ser los casos de Llamas de Cabrera, Castropodame, Andiñuela, etc. Las bases de molinos pueden ser individuales, es decir, para ser utilizadas por un operario, o múltiples, formando parte de un sistema mecanizado movido hidráulicamente o por la fuerza animal (Fig. 8).

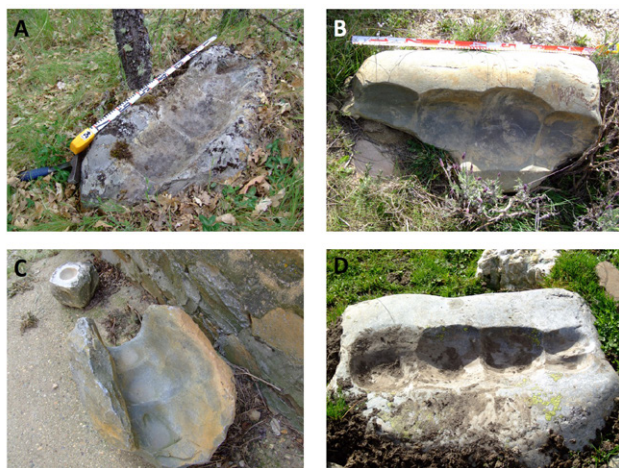


Fig. 8.- Ejemplos de algunas bases de molinos de impacto múltiples de la provincia de León: A. Campo filoniano Lucillo-Villalibre. B. Lagunas de Lacillo (Val de San Lorenzo). C. Pozos. D. Salientes.

Todas las tipologías documentadas en los diferentes yacimientos son comunes, en especial para las bases de molinos de impacto, estando constituidos estos por bloques de piedra muy compacta y resistente, de origen generalmente local o escaso transporte, sistemáticamente aprovechados por todas las caras posibles. El peso de estas piezas oscila entre los 15-35 kg para las bases de molinos individuales y en más de 100 kg para las bases de molinos múltiples. Asimismo, encontramos otro rasgo común que es su emplazamiento en las explotaciones, el cual está en clara relación con los lugares más favorables al transporte del mineral por gravedad, así como el establecimiento de puntos de trabajo estables, próximos a la explotación minera, pero sin interferir en la progresión de esta:

(A) entorno exterior de la entrada de las galerías principales, para las minas subterráneas

(B) parte final de los zanjones y corredores de acceso y drenaje en las cortas a cielo abierto sobre filones.

La explotación ordenada y efectiva de un yacimiento aurífero primario hace necesario establecer unos procesos sistemáticos que garanticen el aprovechamiento adecuado de la mena, donde las pérdidas pueden ser muy importantes debido a la pequeña proporción del metal frente a la ganga que lo contiene. Para el caso de la molienda fina del mineral, los romanos apostaron claramente por la utilización de molinos de impacto, en línea con las técnicas utilizadas ya anteriormente por sus predecesores en otras zonas de la Península Ibérica, Grecia o Egipto (Klemm y Klemm, 2013).

El mineral de cuarzo que conforma en su mayoría los materiales auríferos debe de ser reducido a un polvo fino para liberar las partículas de oro de los demás elementos ajenos, con la finalidad de que luego puedan ser separadas y concentradas por su diferente densidad. Ahora bien, el cuarzo es un material duro y abrasivo, aunque relativamente frágil, que requiere tratamientos específicos, dada su naturaleza. Por ello, debido a su fragilidad, el golpeo mecánico sobre cuerpos de dureza equivalente (para evitar y reducir en lo posible el desgaste prematuro) fue la mejor solución que se podía adoptar al estado de la tecnología y disponibilidad de materiales en época romana.

Los materiales elegidos para la construcción de las bases de los molinos de impacto son en su mayoría de origen local, siempre respetando la adecuación a las exigencias mecánicas de su funcionalidad.

Los tipos principales de materiales encontrados, con algunas de sus ubicaciones, son los siguientes:

- Grandes cantos rodados de cuarcita (Pozos, Val de San Lorenzo, Castropodame, Salientes, Lucillo y Llamas, en León. Salave, Fresnedo y Cecos, en Asturias)
- Bloques de cuarcita-arenisca extraída in situ (Llamas de Cabrera, Andiñuela, Lucillo, etc.)
- Bloques de arenisca local (Andiñuela)
- Bloques tallados de granito (Fig. 9) en forma de paralelepípedo (Três Minas, Jales, As Portas)
- Bloques de cuarzo filoniano muy homogéneos (Pozos, Val de San Lorenzo)

La cuarcita de los grandes bloques de cantos rodados es un material idóneo porque presenta ya una adecuada selección natural debido a las abrasivas y duras condiciones



Fig. 9.- Galería do Pilar (Tresminas-Portugal). El pilar ha sido realizado con bases de molinos múltiples de granito.

del transporte fluvial, por lo que es preferible esta opción a cualquier material extraído directamente de los macizos rocosos, sujeto siempre a la presencia de imperfecciones (fisuración) e irregularidades en su composición, que disminuyen notablemente sus cualidades mecánicas. La utilización de otros materiales como el granito depende de la existencia de un emplazamiento próximo y de la adecuada calidad del macizo rocoso, ya que por sus dimensiones suponen un problema de transporte y no está garantizada su durabilidad.

También se ha encontrado en algún caso (Llamas de Cabrera, León y Valongo, Portugal, por ejemplo) la utilización in situ como bases de grandes bloques de rocas del entorno inmediato a las explotaciones (Fig. 10). Un caso aparte y excepcional es la proliferación de cazoletas de molienda sobre grandes bloques de granito en las explotaciones de Pino de Oro, en Zamora (Sánchez-Palencia *et al.*, 2014). La tipología anómala de estas singulares instalaciones plantea interesantes cuestiones aún por resolver.



Fig. 10.- Gran bloque de roca arenisca utilizado para la molienda del cuarzo aurífero en Llamas de Cabrera, León.

A pesar de la extraordinaria resistencia de los materiales con los que están elaborados los molinos de impacto, la abrasividad del cuarzo de los filones auríferos termina produciendo en estos un fuerte desgaste sobre las superficies de trabajo, que obliga con el tiempo a su sustitución. En los casos de molinos múltiples elaborados sobre bloques de forma regular, como los de granito de Três Minas, por ejemplo, se aprecia claramente que han sido aprovechadas todas las caras del paralelepípedo hasta un nivel de desgaste determinado, momento a partir del cual se procede a reemplazar la pieza por una nueva. En las bases de molinos individuales se aprecia sistemáticamente la misma operación, utilizándose todas las superficies disponibles que permitan un buen apoyo, hasta el agotamiento total de la pieza por desgaste o fatiga del material.

La explicación técnica de este hecho la podemos encontrar fácilmente cuando analizamos la magnitud de las fuerzas aplicadas sobre el mortero y sus efectos sobre el mineral a moler en función de la forma de la cavidad (Fig. 11). Para los molinos de pilones accionados mecánicamente (bases múltiples), la fuerza aplicada es directamente pro-

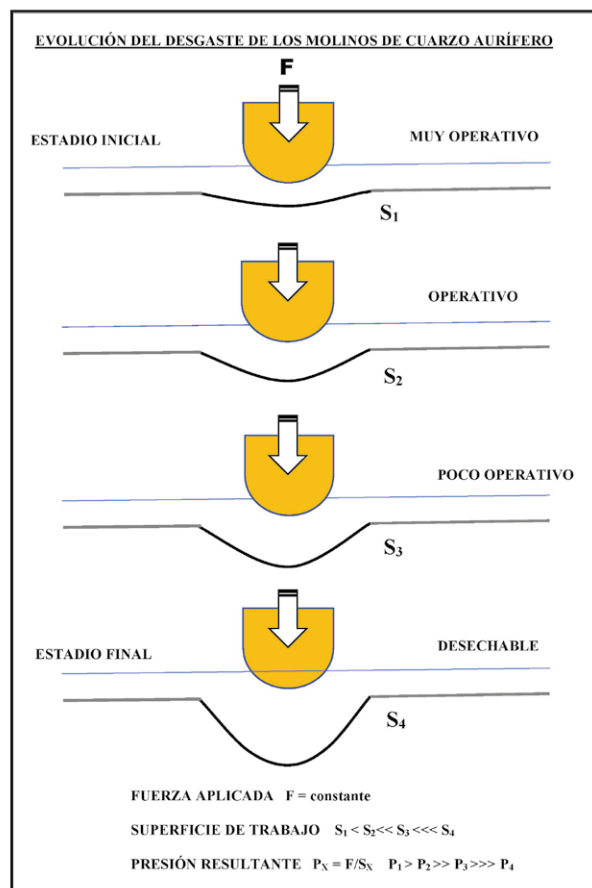


Fig. 11.- Evolución del desgaste de los molinos de cuarzo aurífero (Matías, 2010).

porcional al peso del dispositivo de impacto y su altura de elevación. Para los molinos individuales, accionados manualmente, esta fuerza es función del impulso al que se somete el brazo de impacto. En ambos casos, la fuerza F , aunque de diferente magnitud, puede considerarse constante.

En un principio, con un escaso desgaste o nulo, la superficie de contacto entre el pilón y la base S_1 es pequeña, por lo que la fuerza de impacto resultante (presión P) será máxima, quebrando fácilmente el mineral aurífero al superar su resistencia a la compresión simple. A medida que se va desgastando la base y ampliándose la cavidad, aumenta la superficie de contacto, por lo que la fuerza del impacto se reparte sobre una superficie mayor, disipándose más fácilmente y aumentando el tiempo que se necesita (n° de golpes) para reducir el mineral a polvo. Llega un momento en que la superficie es ya tan grande (S_4) que el pilón apenas puede ejercer una fuerza suficiente sobre el mineral como para tritularlo adecuadamente con un rendimiento efectivo, ya que serían necesarios muchos más golpes para conseguir el mismo resultado, por lo que es necesario cambiar la base desgastada por una nueva, rotando la pieza o sustituyéndola, iniciándose de nuevo el proceso que daría lugar a la formación de otra cavidad por desgaste.

En las bases de molinos múltiples se llega a observar en algunos casos que las cavidades de desgaste no son uniformes, presentando ensanchamientos y diferentes huellas o niveles de actividad, lo que parece deberse a una excentri-

cidad de los pilones, producida artificialmente al desplazar la base, o por el propio desgaste de la maquinaria, en donde los pilones de golpeo están sometidos también a importantes esfuerzos. En el primer caso, esto podría utilizarse para prolongar algo la vida del molino al ofrecer nuevas superficies de trabajo más reducidas que mantengan la fuerza de impacto necesaria para triturar el cuarzo al tamaño requerido. El rápido desgaste de los molinos y la eventual rotura de estos es una de las causas por las que siempre parecen encontrarse un cierto número de ellos, lo que por este motivo no puede ser atribuible en ningún caso a la presencia de un mayor número de elementos (máquinas u operarios) de molienda.

Una vez procesado el material aurífero en los molinos de impacto hasta convertirlo en una fina arena (*apiláscude*) esta se introducía posteriormente en molinos rotativos específicos, capaces de reducirla a polvo. De estos molinos rotativos se ha podido constatar un amplio abanico de materiales con los que se fabrican, todos ellos rocas granudas, también de origen generalmente local, en las que predominan areniscas, conglomerados silíceos fuertemente cementados y granitos (Fig. 12).



Fig. 12.- Fragmentos de molinos rotativos de granito (1) y conglomerado opalino (2) hallados en la localidad de Andiónuela, León.

Hemos encontrado por ahora una singular excepción al origen local de los conglomerados con los que se fabrican algunos molinos rotativos de las minas primarias de la zona de León. Se trata de materiales procedentes de niveles sedimentarios continentales silicificados y cementados por ópalo del SO de la Meseta Norte (Madruga, 1991) en donde se encuentra un conglomerado característico de cantos redondeados de cuarzo de color blanquecino fuertemente cementado, idóneo para la molienda de materiales duros granulares. Restos de molinos realizados con estos materiales se encuentran en diversas minas de oro romanas de Maragatería, Cabrera y Bierzo, lo que supone un transporte de al menos 100-150 km de distancia.

Distribución geográfica de los hallazgos

Al estado del conocimiento sobre la presencia de bases de molinos de cuarzo aurífero en las minas romanas

son ya numerosos los casos en donde van apareciendo sistemáticamente las evidencias de uso de estos sistemas de molienda. No siempre es fácil su localización, bien porque las condiciones del medio no lo permiten, bien porque han podido ser trasladados de su emplazamiento original para otros usos, en algunos casos como materiales de construcción.

Una distribución actualizada puede encontrarse en la tabla 1, donde se reflejan los tipos de molinos hallados en cada yacimiento primario referenciado. Frente al trabajo inicial de hace más de una década (Matías, 2010), hay interesantes novedades como la localización de molinos múltiples del complejo de minería aurífera romana subterránea de Llamas de Cabrera (León), ubicados en la fragua del pueblo, a 3 km de distancia de las minas. También se han hallado numerosas bases múltiples e individuales en el campo filoniano Lucillo-Villalibre, junto con muestras de oro visible en superficie (Matías y González-Nistal, 2014).

Uno de los hallazgos más sorprendentes corresponde a los realizados recientemente en la mina de los Lagos de Salave (Álvarez *et al.*, 2019; 2020), donde se han localizado decenas de molinos múltiples en la base del acantilado que se abre desde la mina al mar, en la denominada cala del Figo. La acción del oleaje ha desgastado la mayoría de las piezas, pero todavía puede apreciarse perfectamente su funcionalidad. Los materiales con los que están elaborados son grandes cantos rodados de cuarcitas y gabros.

Conclusiones

A raíz de los nuevos hallazgos realizados podemos afirmar ya que existe una estrecha relación entre los yacimientos primarios y los sistemas de molienda del mineral, lo que muestra un claro conocimiento de las menas procesadas, perfilando un modelo de trabajo que se adapta sistemáticamente a ellas en todas y cada una de las diferentes circunstancias geológicas.

La estricta selección de los materiales rocosos empleados para la confección de las bases de molinos, tanto rotativos como de impacto, revela sin ninguna duda el conocimiento de la magnitud del problema a resolver, dada la dureza del cuarzo que contiene las partículas de oro. De no encontrarse los materiales en el entorno local, se ha procedido a su transporte desde las áreas fuente.

La cuestión de la aplicación de los molinos rotativos al procesamiento del oro, por su semejanza con aquellos de uso doméstico, tiene un claro paralelismo en las minas del Egipto faraónico, si bien no se descarta un posible uso mixto y no sistemático, en función de las necesidades específicas de molienda de la mena a tratar para la completa liberación de las partículas de oro. No obstante, recordamos que Plinio hace la siguiente referencia: PLIN.Nat.33.69 “*Lo que se ha extraído se tritura, se lava, se tuesta y se muele*”, en la que existen dos procesos diferentes, correspondiendo el segundo a una operación compatible con la utilización de los molinos rotativos, ya que el material ha sido reducido anteriormente a un pequeño tamaño.

El análisis e interpretación técnica de los sistemas de molienda va aclarando diversas cuestiones relativas a su

| MINA | Impacto individual | Impacto múltiple | Rotativo* | Referencias |
|----------------------------|----------------------------------|---|-------------------------------------|---|
| A S T U R I A S | | | | |
| Salave | Tres en gabros | Decenas en gabros, cuarcitas y cuarzo | Citados | Villa, 2010; Álvarez <i>et al.</i> , 2019, 2020 |
| Fojo das Freitas | Dos en areniscas | - | - | Hallazgo personal |
| Fresnedo | - | Uno en cuarcitas | - | Sánchez-Palencia 1985 |
| Cecos | - | Uno en cuarcitas | - | Sánchez-Palencia, 1985 |
| L E Ó N | | | | |
| Pozos | Decenas en cuarcitas y areniscas | Cuatro en cuarcitas | Conglomerados opalinos** | Sánchez-Palencia, 1985 Domergue, 1986 |
| Val de San Lorenzo | - | Siete en cuarcitas | Conglomerados opalinos | Domergue, 1987 Matías, 2010 |
| Andiñuela | Decenas en cuarcitas y areniscas | Uno en cuarcitas | Granitos y conglomerados opalinos | Sánchez-Palencia, 1985 Matías, 2010 |
| Castropodame | Decenas en cuarcitas y areniscas | - | Granitos y conglomerados opalinos** | Meléndez, 1993 |
| Llamas de Cabrera | Doce en cuarcitas y areniscas | Uno en cuarcitas | Granitos y conglomerados opalinos | Matías, 2010 |
| Lucillo-Villalibre | Siete en cuarcitas y areniscas | Tres en cuarcitas | - | Matías y González-Nistal, 2014 |
| Las Rubias | Dos en cuarcitas y areniscas | - | - | Domergue, 1986 |
| San Facundo | Uno en areniscas | - | - | Comunicación oral de Juan Carlos Garrido |
| Salientes | - | Uno en cuarcitas | Tres en granitos | Domergue, 1987 Matías, 2013 |
| O R E N S E | | | | |
| As Portas | - | Tres en granitos en los muros de la iglesia de San Clodio | - | Hallazgo personal |
| P O N T E V E D R A | | | | |
| Burato dos Mouros | Uno en cuarcitas | - | - | Pascual, 2019 |
| S A L A M A N C A | | | | |
| Pozo Airón | - | Tres en granitos | - | Luis De, 2020 |
| P O R T U G A L | | | | |
| Tresminas | - | Decenas en granitos | En granitos | Almeida, 1970 Wahl, 1988; 1998 |
| Jales | - | - | En granitos | Almeida, 1970 Braz, 2005 |
| Valongo | Tres en areniscas | Uno en granito | - | Matías <i>et al.</i> , 2014 |
| Banjas | Decenas en cuarcitas y areniscas | - | En granitos y conglomerados | Lima <i>et al.</i> , 2010 |

Tabla 1. Hallazgos de bases de molinos de cuarzo aurífero del noroeste ibérico.

* Los hallazgos de molinos rotativos suelen ser fragmentos. En muy pocos casos se han encontrado completos, como en Jales, Valongo o Tresminas, Portugal.

** Hallazgos personales sin referencia bibliográfica.

construcción y funcionamiento, en donde se aprecia ya una amplia distribución geográfica por todo el Noroeste Ibérico, siempre en relación con yacimientos primarios y el procesamiento de las menas obtenidas por medios manuales, bien en superficie, bien en subterráneo, en algunos casos tras la explotación hidráulica superficial de las zonas de alteración.

La utilización excepcional de rocas procedentes de más de un centenar de kilómetros en la confección de molinos rotativos como son los conglomerados opalinos, sorprende y a la vez muestra el establecimiento de relaciones con zonas distantes, ajenas por completo al entorno de los grandes centros de minería aurífera romana, cuyas razones quedan pendientes de determinar.

Aunque el hallazgo de restos de elementos de molienda no se ha verificado todavía en todos los yacimientos primarios trabajados en época romana en el NO Ibérico, es de esperar que su búsqueda sistemática arrojará sin duda unos resultados análogos.

Agradecimientos y financiación

Agradezco a los diferentes autores que, al margen de los textos de sus publicaciones, han contribuido con información personal, como Evaristo Álvarez, Alexandre Lima, Mirian De Cabo y Juan Carlos Garrido, enriqueciendo notablemente este trabajo. Igualmente, agradezco a los revisores su dedicación y criterio.

La presente investigación no ha recibido ayudas específicas provenientes de agencias del sector público, sector comercial o entidades sin ánimo de lucro.

Referencias

- Almeida, F., 1970. Minas de Ouro na Gallaecia Portuguesa. Legio VII Gémina. Cátedra de San Isidoro, León. 287-300.
- Álvarez, E., González Fernández, B., Menéndez Casares, E., 2019. Nuevos datos y reinterpretación de las antiguas labores mineras de Salave (Tapia de Casariego, Asturias). Actas del XVIII Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero, SEDPGYM, 53-64.
- Álvarez, E., González Fernández, B., Menéndez Casares, E., 2020. Morteros mineros antiguos de la Cala del Figo (Salave, Asturias). Nailos: Estudios Interdisciplinarios de Arqueología 7: 35-55.
- Braz, C.M., 2005. A exploração mineira romana e a metalurgia do ouro em Portugal. Tesis Doctoral inédita Faculdade de Letras da Universidade do Porto. 2 tomos: 214 + 645 p.
- Buiskikh, A.A., 2015. Placer-forming flows and mudflows as viscous fluids in river valleys. Russian Geology and Geophysics 56 (12): 1749-1756.
<https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.11.007>.
- Del Mar, A., 1902. A History of the Precious Metals from the Earliest Times to the Present. Cambridge Encyclopedia Company, New York, 489 p.
- Domergue, C., 1986. Dix-huit ans de recherche (1968-1986) dans les mines d'or romaines du nord-ouest de la Péninsule Ibérique. Actas del I Congreso Internacional Astorga Romana, T-II: 7-101.
- Domergue, C., 1987. Catalogue des mines et fonderies antiques de la Péninsule Ibérique. Madrid. Casa de Velázquez, Série Archéologie, 8. 2 Vol: 244 p. + 117 p.
- Groves, D.I., Goldfarb, R.J., Gebre-Mariam, M., Hagemann, S.G., Robert, F., 1998. Orogenic Gold Deposits: A proposed classification in the context of their crystal distribution and relationship to other gold deposit types. Elsevier, Ore Geology Reviews, 13: 7-27.
[https://doi.org/10.1016/S0169-1368\(97\)00012-7](https://doi.org/10.1016/S0169-1368(97)00012-7)
- Klemm, R., Klemm, D., 2013. Gold and Gold Mining in Ancient Egypt and Nubia. Springer, Berlin, 649 p.
<https://doi.org/10.1007/978-3-642-22508-6>
- Krestschmar, U., McBride, D., 2016. The Metallogeny of Gold Deposits: a Syngenetic Perspective. Elsevier, Amsterdam, 339 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803222-0.00009-5>
- Large, R.R., Bull, S.W., Maslennikov, V., 2011. A carbonaceous sedimentary source-rock model for Carlin-type and orogenic gold deposits: Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists, 106: 331-358.
<https://doi.org/10.2113/econgeo.106.3.331>
- Lima, A., Matías, R., Félix, N., Silva, M.A. 2010. A Mineração Romana de Ouro no Município de Paredes: O exemplo da Serra de Santa Iria e Serra das Banjas. Actas del VI Simposio Internacional sobre la Minería y Metalurgia Antiguas en el Suroeste Europeo. SEDPGYM, 125-142.
- Luis, De, J., 2020. Carazas: Minería aurífera romana en Ciudad Rodrigo. Revista del Centro de Estudios Mirobrigenses, 7: 29-60.
- Luzón, J.M., Sánchez-Palencia, F.J., Acuña, F., 1980. El Caurel. Ministerio de Cultura. Subdirección General de Arqueología. EAE 101. Madrid, 155 p.
- Macdonald, E.H., 1983. Alluvial Mining. Chapman and Hall Ed., London-New York, 508 p.
<https://doi.org/10.1007/978-94-017-5361-6>
- Madruga, F., 1991. Rocas opalinas del Oeste de España. Aplicación como materiales de construcción y evaluación de su puzolanidad por técnicas conductimétricas. Junta de Castilla y León, Consejería de Fomento. Ed. Ámbito, Valladolid, 94 p.
- Matías, R. 2008: El complejo de minería aurífera romana de Llamas de Cabrera (León). Revista del Instituto de Estudios Bercianos nº 32-33. Peñalba Impresión. Ponferrada-León. pp.17-52
- Matías, R., 2010. Los yacimientos auríferos primarios de la provincia de León (España): técnicas de explotación romana. Actas 1º Congresso Internacional Povoamento e Exploração dos Recursos Mineiros na Europa Atlântica Occidental, Braga, 155-178.
- Matías, R., 2014a. La investigación de la minería aurífera romana en España: planteamientos del pasado y nuevas perspectivas. Atas do Simpósio Internacional Paisagens Mineiras Antigas na Europa Occidental. Boticas, Portugal, 29-64.
- Matías, R., 2014b. La minería del oro en el Imperio Romano y su puesta en valor: contextualización e importancia de la minería aurífera romana del área Valongo-Paredes. Actas del 1º Congresso Mineração Romana en Valongo. Valongo, Portugal, 3-39.
- Matías, R., 2013. Minería aurífera romana en el área Salientes-Villablino (León-España). Actas del XIV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero, Castrillón, Asturias, SEDPGYM, 631-648.
- Matías, R., 2021. La Minería Aurífera Romana del Noroeste Hispano: una visión desde la Ingeniería de Minas actual. Tesis Doctoral. Univ. Politécnica de Madrid, 377 p.
<https://doi.org/10.20868/UPM.thesis.69222>
- Matías, R., González-Nistal, S., 2014. Minería aurífera romana en el campo filoniano Lucillo-Villalibre. Sierra del Teleno (León-España). Actas del XV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero, Logrosán, Cáceres, 499-

518.

- Matías, R., Fonte, J., Lima, A., Monteiro, A., Granda, V., Moutinho, J., Silva, J., Aguiar, P., 2014. Evidencias de minería hidráulica romana en la Sierra de Pias (Valongo, Portugal). *Actas del XV Congreso Internacional sobre Patrimonio Geológico y Minero*, Logrosán, Cáceres, 481-498.
- Maya, J.L., 1990. La explotación minera y la metalurgia romana en Asturias. *Historia de Asturias*. Oviedo, Vol I, 192-212.
- Meléndez, R., 1993. Historia de la Antigua Real Villa de Castropodame. Peñalba Impresión, Ponferrada, 601 p.
- Pascual, G., 2019. Canales romanos inéditos en la minería aurífera romana del Baixo Miño. *Boletín Instituto de Estudios Vigueses*, 23, 18: 49-124.
- Pérez, M., Matías, R., 2008. Plinio y la minería aurífera romana: nueva traducción e interpretación de Plin.Nat.33.66-78. *Cuadernos de Filología Clásica. Estudios Latinos*, 28(1): 43-58.
- Ridley, J., 2013. *Ore Deposits Geology*. Cambridge University Press, Colorado, 410 p.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781139135528>
- Sánchez-Palencia, F.J., 1985. Los morteros de Fresnedo (Allande) y Cecos (Ibias) y los lavaderos de oro romanos en el noroeste de la Península Ibérica. *Zephyrus*, 37-38: 349-359.
- Sánchez-Palencia, F.J. (Ed.), 2000. *Las Médulas* (León). Un paisaje cultural en la "Asturia Augustana". León: Instituto Leonés de Cultura, 362 p.
<https://doi.org/10.3989/tp.2000.v57.i2.257>
- Sánchez-Palencia, F.J., Beltrán, A., Pecharromán, J.L., Romero, D., Currás, B., 2014. La minería romana de Pino del Oro y su entorno inmediato (Zamora). En: *Minería en zonas interfronterizas de Castilla y León y Portugal* (Asturia y NE de Lusitania), (F.J. Sánchez-Palencia, Ed.). Junta de Castilla y León, Valladolid, 181-216.
- Sánchez-Palencia, F.J., Orejas, A., Sastre, I., Pérez, L.C., 2006. Las zonas mineras romanas del noroeste peninsular: infraestructura y organización del territorio. *Nuevos elementos de Ingeniería Romana*. Congreso Europeo las Obras Públicas Romanas. Junta de Castilla y León. Valladolid, 265-285.
- Villa, A., 2010. El oro en la Asturias Antigua: beneficio y manipulación de los metales preciosos en torno al cambio de era. En: *Cobre y Oro. Minería y metalurgia en la Asturias antigua y prehistórica* (J. Fernández-Tresguerres, Ed.). Real Instituto de Estudios Asturianos, Oviedo, 83-125.
- Wahl, J., 1988. Três Minas. Vorbericht über die archäologischen Ausgrabungen im Bereich des römischen Goldberwerks 1986/87. *Deutsches Archäologisches Institut. Madrid. Madrider Mitteilungen* 29: 221-244.
- Wahl, J., 1998. Aspectos tecnológicos da industria mineira e metalúrgica romana de Três Minas e Campo de Jales (Concelho de Vila Pouca de Aguiar). *Actas do Seminário Museologia e Arqueologia Mineiras*, Lisboa, IGM, 57-68.

MANUSCRITO RECIBIDO: 13-02-2025

REVISIÓN RECIBIDA: 12-03-2025

ACEPTACIÓN DEL MANUSCRITO REVISADO: 22-08-2025

