

OPHIUSSA

REVISTA DO CENTRO DE ARQUEOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA

ISSN 1645-653X
E-ISSN 2184-173X



CENTRO DE ARQUEOLOGIA
DA UNIVERSIDADE
DE LISBOA

uniarq

9 - 2025

OPHIUSSA

REVISTA DO CENTRO DE ARQUEOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA



OPHIUSSA REVISTA DO CENTRO DE ARQUEOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE LISBOA

PUBLICAÇÃO ANUAL · ISSN 1645-653X · E-ISSN 2184-173X

Volume 9 - 2025

DIRECÇÃO E COORDENAÇÃO EDITORIAL

Elisa Sousa

Cristina Gameiro

Francisco B. Gomes

CONSELHO CIENTÍFICO

André Teixeira

UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Carlos Fabião

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Catarina Viegas

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Gloria Mora

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

João Pedro Bernardes

UNIVERSIDADE DO ALGARVE

José Remesal

UNIVERSIDADE DE BARCELONA

Leonor Rocha

UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Manuela Martins

UNIVERSIDADE DO MINHO

Maria Barroso Gonçalves

INSTITUTO SUPERIOR DE CIÊNCIAS DO TRABALHO E DA EMPRESA

Mariana Diniz

UNIVERSIDADE DE LISBOA

Raquel Vilaça

UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Xavier Terradas Battle

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

SECRETARIADO

André Pereira

PAGINAÇÃO

TVM Designers

CAPA

Estela de Villafranca de los Barros.

Desenho de Pablo Paniego Díaz

<https://ophiussa.letras.ulisboa.pt>

Dezembro de 2025

ISSN 1645-653X / E-ISSN 2184-173X

DEPÓSITO LEGAL 190404/03

A edição segue as directrizes Creative Commons
(licença CC/BY/NC/ND 4.0).

Copyright ©Revista Ophiussa 2025

EDIÇÃO

UNIARQ – Centro de Arqueologia

da Universidade de Lisboa,

Faculdade de Letras de Lisboa

1600-214 Lisboa.

www.uniarq.net<https://ophiussa.letras.ulisboa.pt>uniarq@letras.ulisboa.pt

Revista fundada por Victor S. Gonçalves (1996).

O cumprimento do acordo ortográfico de 1990
foi opção de cada autor.Esta publicação é financiada por fundos nacionais
através da FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia,
I.P., no âmbito do projecto UID/00698/2025
(<https://doi.org/10.54499/UID/00698/2025>) - Centro
de Arqueologia da Universidade de Lisboa

ÍNDICE

Origins of raw milk consumption in the Iberian Peninsula and Portuguese territory: archaeogenetics and zooarchaeology GONÇALO GARCEZ FERNANDES, MARIA JOÃO VALENTE, HUGO RAFAEL OLIVEIRA, MARIA JOÃO FERNANDES MARTINS	5
A estátua-menir 3 da Serra da Nave (Moimenta da Beira, Viseu) ANDRÉ TOMÁS SANTOS, SÍLVIA LOUREIRO MENDES, DIOGO OLIVEIRA, DOMINGOS J. CRUZ	25
La estela de Villafranca de los Barros y su contexto en la arqueología de Tierra de Barros PABLO PANIEGO DÍAZ, LUIS-GETHSEMANÍ PÉREZ-AGUILAR, MARIO PIÑERO FERNÁNDEZ	43
Mértola en la Edad del Hierro: investigaciones arqueológicas entre Estácio da Veiga y la actualidad (1877-2024) PEDRO ALBUQUERQUE, FRANCISCO JOSÉ GARCÍA FERNÁNDEZ, JOÃO FONTE	67
O sítio arqueológico de Alto do Castelo (Alpiarça). Revisão arqueológica e novas leituras não intrusivas JOÃO PIMENTA, TIAGO DO PEREIRO, JOÃO FONTE	89
El proceso de extracción de cobre en el Cerro de los Almadenes. Nuevas hipótesis y replanteamientos a través de un estudio comparativo JUAN ÁLVAREZ GARCÍA, GONZALO LOZANO OTERO, MARIANO AYARZAGÜENA SANZ	121
A cidade romana de <i>Ossonoba</i> nos inícios da nossa Era: novos dados a partir da intervenção na rua Ivens, n.º 16 FRANCISCO ROSA CORREIA, ANA MARTIN, JOÃO PEDRO BERNARDES	145
Regressar ao túmulo: a primeira campanha do Projecto de Documentação da Mastaba de Akhmerutnisut (G 2184, Guiza, Egipto) INÊS TORRES, LUIZA OSORIO G. SILVA, GUILHERME BORGES PIRES, MAARTEN PRAET, MOHAMED YOUSSEF SEDEK, MOHAMED KHALIFA, YASSER KAMAL HEFNI	165
The Writing of Archaeological Theory ARTUR RIBEIRO	187
<i>Res Naturae</i> . Archaeology in a posthuman Anthropocene and the archaeology of nature: a preliminary attempt MARA BEATRIZ AGOSTO	201
Recensões bibliográficas (TEXTOS: JOÃO PIMENTA, ANTÓNIO CARVALHO, YUNA LE QUÉRÉ, AMÍLCAR GUERRA, CARMEN RAMÍREZ CAÑAS, CRISTINA GAMEIRO)	221
Política editorial	239
Editorial policy	240

El proceso de extracción de cobre en el Cerro de los Almadenes. Nuevas hipótesis y replanteamientos a través de un estudio comparativo

The copper extraction process at Cerro de los Almadenes. New hypotheses and reconsiderations through a comparative study

JUAN ÁLVAREZ GARCÍA

Departamento de Geografía, área de Didáctica de las Ciencias Sociales - USAL
jalvarezg@usal.es
ORCID: 0000-0002-9262-8481

GONZALO LOZANO OTERO

Instituto Geológico y Minero de España – CSIC
g.lozano@igme.es
ORCID: 0000-0003-1447-9991

MARIANO AYARZAGÜENA SANZ

Sociedad Española de Historia de la Arqueología
mariano.ayarzagüena@gmail.com
ORCID: 0000-0003-3611-4977

RESUMEN: La instalación metalúrgica hallada en el Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia) ha permitido comprender las diferentes partes del proceso productivo del cobre: extracción del mineral, triturado, lavado, tostación y reducción. De esta última destaca las baterías de diez hornos de reducción. No obstante, todavía se plantean dudas sobre este proceso, por lo que a través de su comparativa con las instalaciones metalúrgicas, tanto en el entorno peninsular, como en otros lugares más alejados en el tiempo y en el espacio como las halladas en Autun (Francia) y Ayn Soukhna (Egipto), se ha podido acceder a todo un abanico de explicaciones sobre cómo y dónde se pudieron realizar esas mismas operaciones, así como plantear futuras líneas de trabajo.

PALABRAS CLAVE: hornos; cobre; *chaîne opératoire*; comparativa; Autun; Ayn Soukhna.

ABSTRACT: The metallurgical installation found at Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia) has allowed us to understand the different parts of the copper production process: extraction of the ore, crushing, washing, roasting and smelting. Of the latter, the set of ten reduction furnaces stands out. However, there are still doubts about this process, so by comparing it with the metallurgical installations both on the Iberian Peninsula and in other places further away in time and space, such as those found in Autun (France) and Ayn Soukhna (Egypt) has allowed us to access a whole range of explanations about how and where these same operations could have been carried out, as well as to propose future lines of work.

KEYWORDS: furnaces; copper; *chaîne opératoire*; comparison; Autun; Ayn Soukhna.

1. INTRODUCCIÓN: ANTIGUAS EXCAVACIONES, NUEVOS PLANTEAMIENTOS

En el panorama arqueológico actual de la Península Ibérica, el Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia) constituye uno de los yacimientos fundamentales para comprender los sistemas de producción metalúrgica de cobre durante la Antigüedad en la región. Este yacimiento, bordeado por el norte y el sur por dos arroyos, el de la Escoria y el del Quejigal, se encuentra en el suroeste de la provincia de Segovia al norte de la sierra del Quintanar y estratégicamente situado en una de las principales rutas que, desde la Antigüedad hoy, siguen la línea de piedemonte del sistema central y, por otro lado, atraviesan dichas montañas conectando la submeseta norte con la submeseta sur (Fig. 1).

Existen noticias de la presencia de restos arqueológicos relacionados con la producción metalúrgica en este lugar desde prácticamente el siglo XVI (López Ciudad *et al.* 2017). Sin embargo, habremos de esperar a finales del siglo XIX y principios del siglo XX para tener las primeras publicaciones al respecto. Si bien en estas primeras aproximaciones se afirmaba la existencia de una explotación romana de cobre (Lecea García 1890; Cortázar 1891; Alió 1902; Lacasa 1922), no será hasta la prospección de Claude Domergue realizada a finales de los años setenta del siglo XX cuando el yacimiento entre en la literatura científica (Domergue 1979; 1990: 125). Tras la prospección, C. Domergue pudo constatar la importancia que habrían tenido las labores minero-metalúrgicas en los siglos I a.C. y I d.C. Y efectivamente todo parece indicar que ese periodo fue el de mayor explotación del yacimiento, de cuya actividad quedó un gran escorial que se mantuvo hasta el último cuarto del siglo XX (Fig. 2).

Finalmente, a partir del año 2009, un equipo de arqueólogos de la Sociedad Española de Historia de la Arqueología inició los trabajos arqueológicos en el Cerro de los Almadenes. Estos trabajos, si bien han proporcionado un buen número de relevantes descubrimientos que abarcan desde el siglo VI a.C. hasta el VI d.C., fue el descubrimiento a partir de 2012 de una serie de baterías de hornos de reducción de cobre, dentro de una estructura identificada como una *officina metallorum*, lo que hizo de este yacimiento un *unicum* en la arqueología española. Estos hallazgos



FIG. 1 Vista del Cerro de los Almadenes desde el Norte.



FIG. 2 Vista de dos personas en el escorial (Alió 1902).

se han presentado en diferentes publicaciones, tanto en aquellas referidas concretamente a las propias baterías de hornos de cobre e instalaciones asociadas (Ayarzagüena Sanz – Lozano Otero 2019; 2021; Ayarzagüena Sanz *et al.* 2012; 2017a; 2017b; Lozano Otero – Ayarzagüena Sanz 2018; Lozano Otero *et al.* 2019; San Clemente Geijo – Salas Álvarez 2017), como en estudios más generales (Álvarez García *et al.* 2024; Ayarzagüena Sanz – San Clemente Geijo 2022; Lozano Otero – López – Ayarzagüena 2021; Lozano Otero – Puche Riart 2011; Salas Álvarez – San Clemente Geijo – Sebastián Reques 2012; 2017; Salas Álvarez *et al.* 2014; San Clemente Geijo – Ayarzagüena Sanz 2019; Valiente Cánovas *et al.* 2021).

De entre los resultados aportados por toda esta literatura científica destacan los aspectos cronológicos, morfológicos y funcionales de estos hornos de

cobre. Estas baterías de hornos, datadas por termoluminiscencia y paleomagnetismo, dieron una cronología de entre los siglos V y VI d.C. Además, varios hallazgos realizados en el entorno han permitido reconstruir, a grandes rasgos, prácticamente todo el proceso productivo, desde la extracción del mineral en la mina hasta la obtención final del cobre, pasando por su triturado, lavado, tostación y reducción (Arboledas Martínez 2019: 570-573).

Sin embargo, entender la funcionalidad de los espacios metalúrgicos que aparecen junto a los hornos no es sencillo cuando el registro arqueológico con el que compararlos es escaso. Esta falta de restos en la Península Ibérica no se ha debido tanto a la falta de actividad metalúrgica durante la Antigüedad, sino a la intensa actividad minera y metalúrgica desarrollada en los siglos XIX y XX que destruyó la mayor parte de los restos. Únicamente la casualidad de que no se llegasen a explotar los recursos mineros del municipio de Otero de Herreros entre finales del siglo XIX y principios del XX (aunque hubo intentos) ha permitido que se hayan preservado hasta nuestros días.

Por tanto, pese a los grandes avances, todavía quedan por clarificar ciertos aspectos y detalles de ese proceso productivo o *chaîne opératoire*, así como establecer diferencias y semejanzas respecto a otras instalaciones similares que permitan identificar las peculiaridades de la producción de cobre que se dio en el Cerro de los Almadenes.

Así pues, para completar los vacíos en ese proceso productivo de cobre, se pretende hacer aquí una comparativa con baterías de hornos e instalaciones metalúrgicas similares encontradas en el ámbito peninsular. Sin embargo, como decimos, son escasos los yacimientos minero-metalúrgicos orientados a la producción de cobre que hayan conservado instalaciones similares a las del Cerro de los Almadenes, habiendo que recurrir también a yacimientos especializados en la producción de otro tipo de metales que, evidentemente, no permiten una comparación exacta o, incluso a instalaciones más alejadas. De entre estas últimas se ha recurrido a dos muy dispares desde el punto de vista cultural, espacial y temporal: uno más cercano en el tiempo y en el espacio al Cerro de los Almadenes, la zona de producción metalúrgica de la antigua ciudad romana de *Augustodunum* (Autun, Francia); y otro mucho más lejano como son las baterías de

hornos egipcios de época del Reino Medio localizadas en Ayn Soukhna (Egipto).

Desde un punto de vista metodológico, es evidente la gran complejidad que entraña una comparativa entre las baterías de hornos halladas en el Cerro de los Almadenes y estas otras encontradas en Autun, por un lado, y en Ayn Soukhna, por otro. En el primer caso, nos encontramos ante hornos eminentemente urbanos donde solo se daba la última fase de la cadena productiva, la fabricación de objetos de base cobre. En el segundo caso, las distancias espaciales y cronológicas y las no menores diferencias culturales para con el Cerro de los Almadenes también dificultan cualquier comparativa. Sin embargo, en los tres podemos apreciar momentos y estadios clave en la cadena de producción de cobre, por lo que su comparación puede aportar datos de cara a completar vacíos que tenemos en la cadena operativa que se siguió en el Cerro de los Almadenes o, incluso, a reinterpretar materiales y estructuras orientados a la producción de cobre que se han hallado aquí.

Así pues, en un primer momento, se describirá el espacio de producción metalúrgica que se halló en el Cerro de los Almadenes donde arrojaremos una primera interpretación del proceso productivo. Seguidamente analizaremos el contexto peninsular, comentando otros espacios similares de producción metalúrgica. En tercer lugar se analizarán las instalaciones metalúrgicas de Autun y Ayn Soukhna. Por último, se establecerán comparaciones y paralelos entre el Cerro de los Almadenes y todos los comentados anteriormente con el fin de que, a través de estos, podamos realizar interpretaciones más concretas en torno a la instalación metalúrgica del Cerro de los Almadenes.

2. EL CERRO DE LOS ALMADENES: DE LAS ZONAS DE EXTRACCIÓN DEL MINERAL A LOS ESPACIOS DE TRANSFORMACIÓN

2.1. Las zonas de explotación minera

Conocemos dos zonas en el cerro o contiguas a él donde se realizaron labores mineras en la Antigüedad, correspondientes a las dos principales franjas de mineralización (Fig. 3). La primera se encuentra al noroeste del cerro junto al arroyo de la Escoria (Fig. 4). Esta

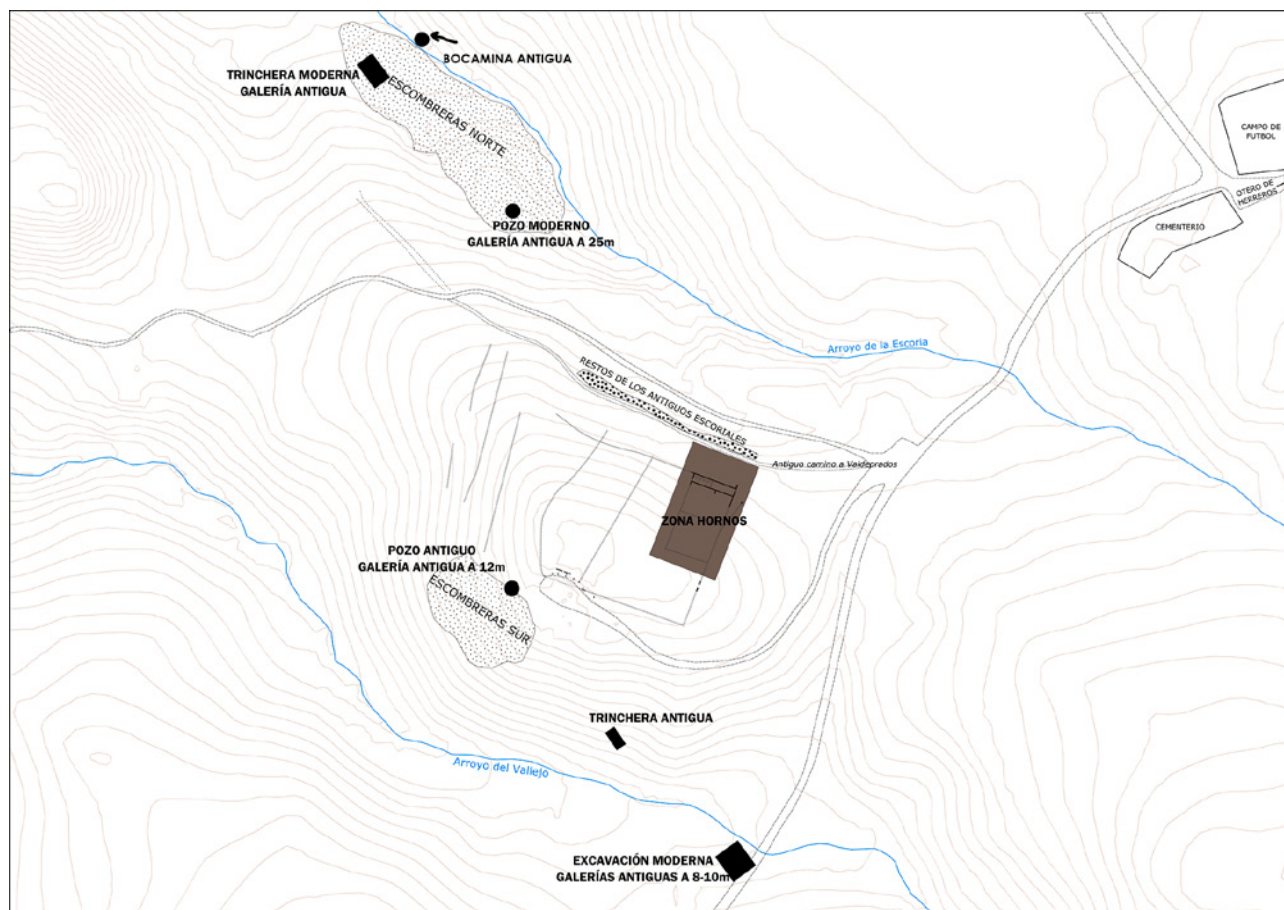


FIG. 3 Ubicación de galerías y minas antiguas en el Cerro de los Almadenes.

zona muestra en superficie escombreras e incluso una bocamina. Las prospecciones mineras de principios del siglo XX (Inspección General de Minería 1906) limpiaron las denominadas labores antiguas, con lo que removieron estas escombreras y realizaron excavaciones, descubriendo antiguas galerías y atestiguando que se alcanzaron profundidades de hasta 25 m. Afortunadamente, la traza del camino que debió servir para trasladar el mineral hasta el cerro se ha logrado conservar.

La otra zona minera se encuentra situada al sur del cerro, junto al arroyo del Quejigal. En esta zona también hubo trabajos mineros en 1905, descubriendo dos niveles de galerías situados unos 10 m por debajo del nivel del arroyo y no muy lejos del mismo. Es destacable, en esta zona sur, la existencia de un pozo minero antiguo situado a menos de 100 m del cerro.

En cualquier caso, pese a estos intentos de explotación en época contemporánea, la mejor manera de acercarnos a las dimensiones de la extracción de mineral que se llevó a cabo en este yacimiento en la Antigüedad son los escoriales producto de las labores



FIG. 4 Bocamina antigua junto al arroyo de la Escoria.

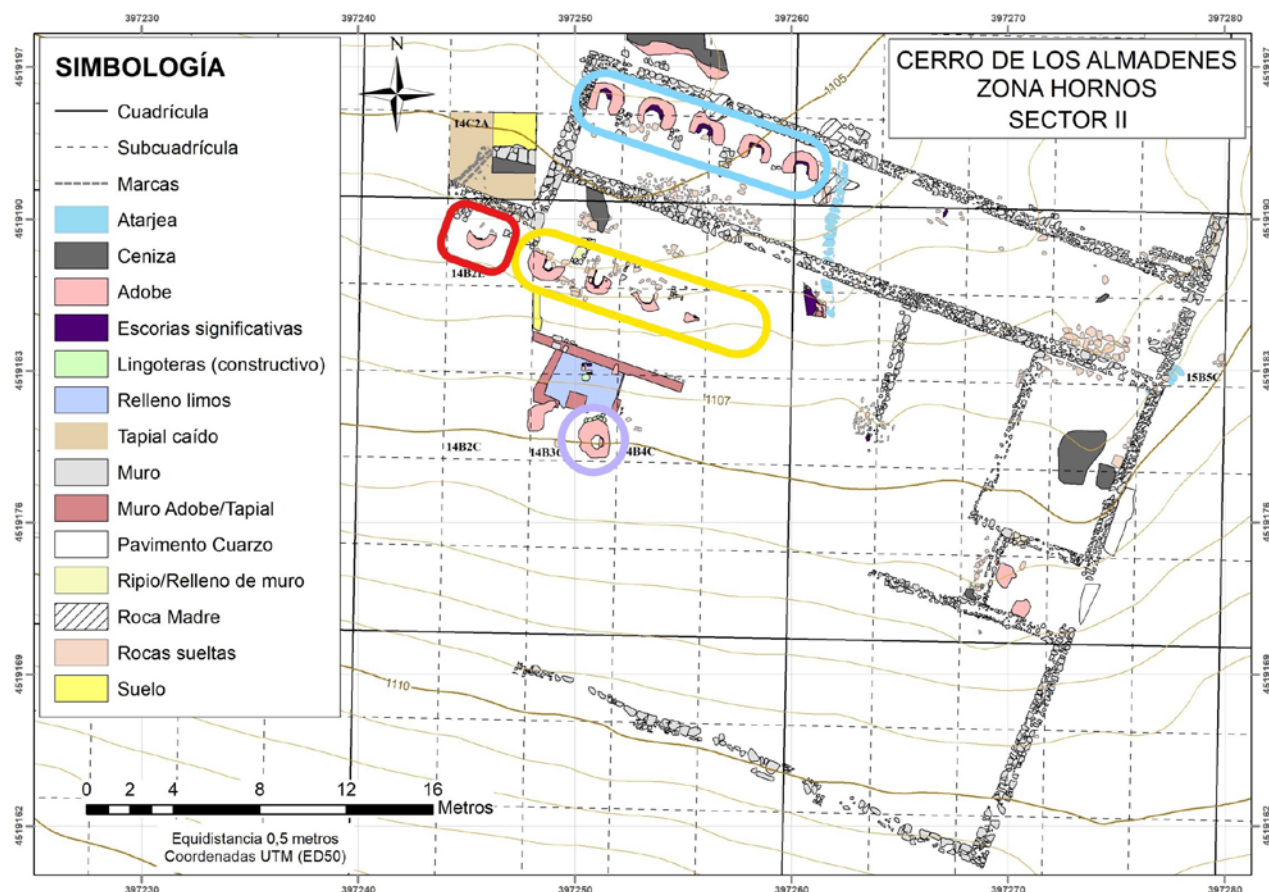


FIG. 5 Hornos y otras estructuras del sector II: círculo azul, batería 1; círculo amarillo, batería 2; círculo rojo, horno -1.

metalúrgicas. Consultando diversa documentación que hace mención al volumen de los mismos (Lecea 1890), estimamos que a finales del siglo XIX estos contenían 560.000¹ toneladas de escorias metalúrgicas como resultado de las fundiciones.

2.2. Las zonas de transformación: las baterías de hornos

Hasta ahora se han documentado dos baterías de hornos en la parte occidental de un gran complejo que ha sido identificado como una *officina metallorum*. Cada una de las baterías consta de cinco hornos divididas por un muro que hace de eje de simetría entre ambas. Además de estas dos baterías, se halló el

denominado horno -1 (Fig. 5). Este horno se encuentra alineado con la segunda de las baterías descubiertas, pero separado estructuralmente de la misma, lo que podría indicarnos que es el inicio de una nueva batería. Esta idea se ve reforzada por lo descubierto gracias a un trabajo de georradar realizado en la zona, donde se ha podido constatar la existencia de más baterías de hornos a lo largo de la ladera (CAI Unidad de Arqueometría 2019). No obstante, al encontrarse este horno -1 frente a un muro, es muy probable que la batería a la que perteneció estuviera ya amortizada en el momento de funcionamiento de los otros diez.

Todos los hornos siguen la misma disposición, incluso el denominado -1, donde cada horno se encuentra entre dos muros contiguos, uno a su izquierda y otro a su derecha (Fig. 6). Existe una canalización cubierta por grandes lajas de gneis que divide el espacio de las dos baterías del resto de la instalación y corre perpendicular a aquellas. La presencia de esta canalización está en relación con la necesidad de agua que tenían las fundiciones, aunque posiblemente ésta en concreto se encontrara ya amortizada cuando

¹ Lecea García (1890) estimó en 200.000 m³ el volumen del escorial a finales del siglo XIX. Para poder comparar esta cifra con otros estudios que estiman datos en toneladas se aplicó la fórmula propuesta por Pérez Macías (1986) para la clasificación de escorias en excavaciones arqueológicas. El volumen estimado por Lecea se multiplicó por la densidad de la escoria de cobre calculada por Pérez Macías: 3500 kg/m³ (3,5 g/cm³). El resultado fue a su vez multiplicado por un coeficiente de esponjamiento de 0,8 (aplicado para no tener en cuenta los espacios vacíos dentro de las montañas de escoria). El resultado resultaría en 560.000 toneladas de un escorial ya reducido a finales del siglo XIX.

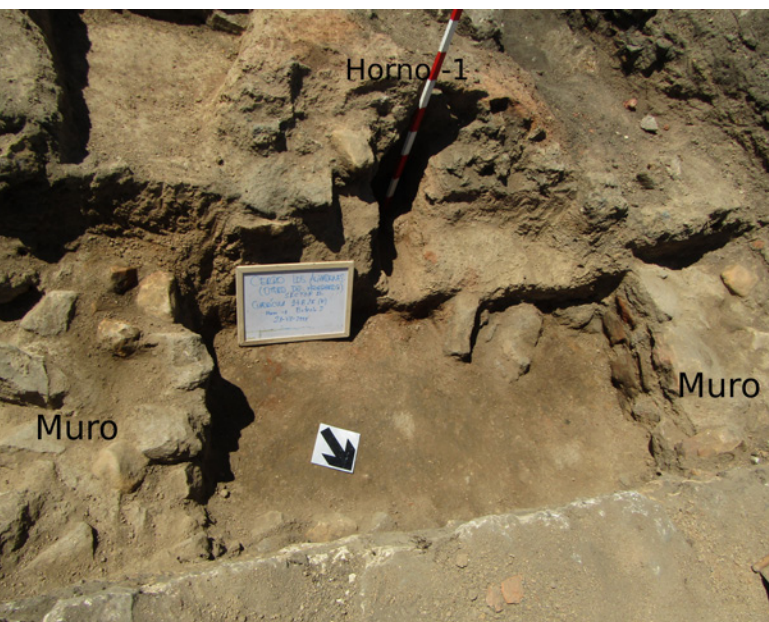


FIG. 6 Horno entre dos muros.

estos hornos estuvieron en funcionamiento y proceda de una explotación previa puesto que finaliza en una pileta fuera del complejo y apareció ya sellada por el muro norte del mismo. Por otro lado, se hallaron en el entorno algunos vasos cerámicos que igualmente pudieron ser utilizados para el almacenamiento, bien de agua para ayudar en las tareas de fundición o bien de mineral triturado y preparado para su procesamiento.

Los análisis arqueometalúrgicos llevados a cabo en el laboratorio de microscopía electrónica y microanálisis del Consejo Superior de Investigaciones Científicas (CSIC) realizados sobre las escorias de los hornos 1 y 2 de la batería 1 revelaron una composición asociada a la reducción de cobre y zinc (Tab. 1a y 1b) donde, además, la ausencia de restos de estaño o plomo indican que no se estaba reciclando ningún tipo de metal ya fabricado (Montero – García Vuelta 2014).

En cuanto a los combustibles, los estudios antracológicos realizados sobre restos de carbones han confirmado que se usó madera de pino albar (*Pinus sylvestris*), especie que poblaba las lomas de la sierra del Quintanar en aquellos momentos (Euba Rementeira 2010).

Por lo que respecta a la estructura de los hornos, se buscó en la mayoría de los casos asentar su base directamente sobre la roca madre, llegando en algunos casos a tallarla con el fin de adecuar la estructura. En el fondo de algunos hornos se ha encontrado una masa

de barro, en ocasiones cocido, que podría haber constituido un relleno sobre la base del horno. Todos estos hornos tienen un diámetro de unos 0,55 m en su base y una altura conservada de aproximadamente 1 m. En ningún caso se ha conservado la chimenea que nos permita estimar su altura total; no obstante, en ciertos hornos de la batería 2 sí parecen atisbarse lo que serían los arranques de la chimenea (Fig. 7). El alzado del horno se realizó a base de rocas graníticas y gneises

TABLA 1a COMPOSICIÓN DE LA ESCORIA DEL HORNO 1 (MONTERO – GARCÍA VUELTA 2014: 4)

COMPUESTO	1	2	3	4	6
Na ₂ O	2,3		2,9	3,6	
MgO	5,7	3,0	1,7	4,0	2,7
Al ₂ O ₃	10,5	7,6	18,2	13,1	10,4
SiO ₂	43,5	6,6	50,3	25,6	36,7
K ₂ O	1,5	0,4	3,9	1,5	1,9
CaO	19,3	0,8	11,9	3,8	10,1
TiO ₂	0,4	0,6	0,5	0,5	
MnO	1,0	1,1	0,3	0,6	1,5
FeO	8,7	61,3	8,0	44,4	5,8
CuO	0,3		0,8	0,7	14,0
ZnO	6,4	18,6	0,9	1,9	8,1
P ₂ O ₅	0,4		0,4	0,3	0,9
SO ₃					8,0

TABLA 1b COMPOSICIÓN DE LA ESCORIA DEL HORNO 2 (MONTERO – GARCÍA VUELTA 2014: 3)

COMPUESTO	[NORM. WY.%]
Na ₂ O	1,0
MgO	3,5
Al ₂ O ₃	17,0
SiO ₂	53,0
K ₂ O	4,0
CaO	8,7
TiO ₂	0,7
MnO	0,9
FeO	9,5
CuO	0,9
ZnO	0,8



FIG. 7 Corte de horno. Las flechas en blanco marcan la escoria. Flecha en amarillo marca el arranque de la chimenea.



FIG. 8 Depósito de limos con estructura de combustión anexa.

de gran tamaño forradas en su interior con una capa de arcilla. En relación con este último aspecto, se han podido documentar varias capas de arcilla escorificada en el interior de los hornos, una sobre otra, hasta tres veces, lo que evidenciaría la reutilización de los hornos de manera sucesiva.

Muy posiblemente, estos hornos tuvieron hasta tres usos antes de que el interior del horno, empequeñecido por la aplicación continua de capas, ya no fuera rentable y el horno tuviera que ser desmantelado y reconstruido de nuevo. Aunque hubiera una reutilización de parte de la estructura del horno, la necesidad de acceder a su interior para extraer el metal obligaba a romper una de las paredes que, tras finalizar el proceso de reducción-fundición se volvía a levantar. Así los hornos nos aparecen todos abiertos en una de sus paredes (la sur en la batería uno y la norte en la batería dos) y abandonados tras vaciar los hornos al finalizar su último uso.

En general en todo el yacimiento, y muy presentes en la zona en torno a los hornos, se halló una gran cantidad de lo que se identificaron como lingoteras (Domergue 1990: 508). Ha sido frecuente encontrarlas al lado o próximas a los hornos, habitualmente dispuestas boca abajo. Sin embargo, dado que ninguno de los hornos conserva escoria en la base, es muy

probable que esas lingoteras fueran realmente los fondos de horno (Fig. 8).

Por el contrario, un aspecto que nos sigue llamando la atención es la ausencia de toberas. Este es un detalle que en cierta forma nos desconcierta, dado que en muchos casos se hacía imprescindible la ventilación forzada para alcanzar las temperaturas necesarias que separaran metal y escoria adecuadamente. Todo ello nos lleva a pensar que las toberas podrían situarse en la parte que posteriormente era destruida cuando se extraía primero la escoria y posteriormente la fundición con el fondo del horno. Sin embargo, existe otra posibilidad: tras el estudio de los hornos de la batería 2 y ver cómo su anchura se reducía en la parte media del horno, planteamos la hipótesis de un efecto *venturi* por el que se acelera el aire una vez entra en el horno, aprovechando los vientos predominantes del sur.

Finalmente, como resultado de todos estos procesos de fundición, desmantelamiento y construcción de nuevos hornos, se crearon aquellos grandes escoyales de los que se hacen eco textos desde el siglo XVI. No obstante, la cronología aportada por diferentes restos de fundición identifica dos momentos clave en la explotación metalúrgica: época romana altoimperial, concretamente el cambio de era (entre los siglos I a.C. y I d.C.) y la tardoantigüedad (siglo V-VI d.C.).

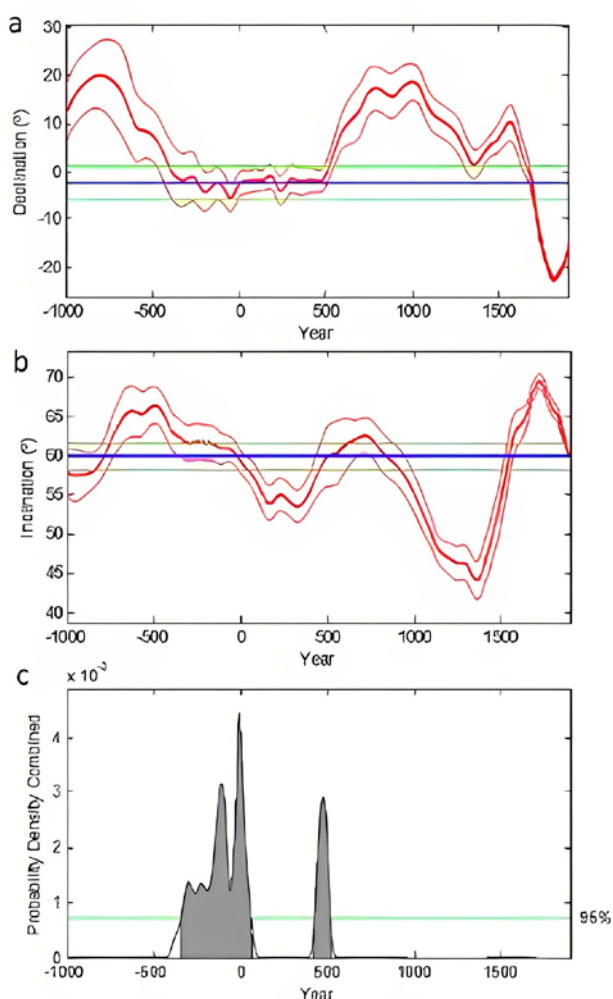
TABLA 2a RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR TERMOLUMINISCENCIA DE UN ADOBE RUBEFACADO PROCEDENTE DEL HORNO 1 Y DOS MUESTRAS CERÁMICAS (LABORATORIO DE DATACIÓN Y RADIOQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID 2013).

REFERENCIA LABORATORIO	DOSYS EQUIVALENTE (Gy)	DOSIS ANUAL (mGy/año)	NÚMERO DE AÑOS BP	LOCALIZACIÓN
MADN-6321BIN	9,23	8,01	1421±86	Adobe horno TL-1
MADN-6322BIN	8,34	4,09	2039±174	cerámica TL-2
MADN-6323mBIN	12,75	6,47	2034±129	cerámica TL-3

TABLA 2b RESULTADO DEL ANÁLISIS POR TERMOLUMINISCENCIA DE UN ADOBE RUBEFACADO PROCEDENTE DEL HORNO 4 (LABORATORIO DE DATACIÓN Y RADIOQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID 2013)

REFERENCIA LABORATORIO	DOSYS EQUIVALENTE (Gy)	DOSIS ANUAL (mGy/año)	NÚMERO DE AÑOS BP	LOCALIZACIÓN
MADN-6393RBIN	12,78	8,95	1455±93	Adobe horno 4

TABLA 3 RESULTADOS DEL ANÁLISIS POR PALEOMAGNETISMO DE LAS MUESTRAS TOMADAS DEL INTERIOR DE LOS HORNOS 1 Y 4 (RIVERO ET AL. 2016: 943).



Las primeras dataciones por termoluminiscencia se realizaron en 2013 y corrieron a cargo del Laboratorio de datación y radioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid. Para esta prueba se tomaron dos muestras de adobe rubefactado de las paredes de los hornos 1 y 4 de la primera batería, arrojando una antigüedad para el primero de 1421±86 BP, y de 1455±93 BP, para el segundo, ofreciendo una horquilla cronológica entre el 495±93 d.C. y el 529±86 d.C. (Tab. 2a y 2b). Sin embargo, las dataciones también por termoluminiscencia de dos cerámicas aparecidas junto a los hornos arrojan una cronología diferente, en torno al cambio de era: 2039±174 y 2034±129 de antigüedad (Tab. 2a) (Laboratorio de datación y radioquímica de la Universidad Autónoma de Madrid 2013). Además se hicieron en 2014 una serie de dataciones por paleomagnetismo. Para estas se tomaron 5 muestras de los hornos 1 y 4 de la primera batería. Estas pruebas fueron realizadas por el grupo de investigación de paleomagnetismo de la Universidad Complutense de Madrid (Departamento de Física de la Tierra, Astronomía y Astrofísica I. Fac. de CC. Físicas). Los resultados de estos análisis arrojaron dos posibles intervalos de edad: 343 a.C – 63 d.C y 431 d.C – 517 d.C. (tab. 3) (Rivero *et al.* 2016).

En definitiva, los análisis arqueometalúrgicos realizados en el momento de su descubrimiento permitieron asegurar que:

- Las escorias son fruto de la explotación de cobre.
- El mineral fundido procedía de una primera reducción, es decir, no era el fruto de refundiciones de metal ya fundido previamente. Esto nos indica que las minas estaban aún en funcionamiento.

- En algunos puntos de los hornos se llegaron a alcanzar los 1.200 °C, más que suficientes para una fundición completa del mineral; utilizándose madera de pino como combustible que era introducido en el horno junto con el mineral.
- Los hornos eran reutilizados hasta tres veces antes de ser desmantelados o abandonados.
- Las fundiciones contaban con una serie de estructuras hidráulicas imprescindibles en el proceso de fundición.
- El número de hornos que estuvieron en funcionamiento simultáneamente y la cantidad de escoria de la que hablan diferentes fuentes hasta comienzos del siglo XX nos indica una explotación minero-metalúrgica de proporciones industriales concentrada en dos momentos fundamentales: entre los siglos I a.C. -I d.C. y entre los siglos V-VI d.C.

2.3. Estructuras asociadas al proceso de fundición: triturado, lavado y tostación

En torno a las baterías de hornos se halló una serie de estancias que formaban parte de la misma *officina metallorum*, cuyas funciones, sin estar aún claras, podrían tener que ver con el triturado, lavado y tostación del mineral. Así pues, en la esquina nororiental apareció una estancia pavimentada en cuya superficie se hallaron restos de azurita; posiblemente fuera una zona de triturado del mineral, aunque sabemos que el mineral más trabajado fue la calcopirita acorde a la abundancia de este mineral en comparación con los carbonatos de cobre como la azurita o la malaquita; no obstante, estos carbonatos están igualmente presentes y su aprovechamiento sería normal. Justo al sur de esta estancia, se han encontrado grandes acumulaciones de cenizas y bases de barro rubefactado que podrían corresponder con zonas utilizadas para oxidar el mineral haciéndole perder parte del azufre mediante un proceso de tostación. A esta evidencia se suma el hallazgo en el sector I de espacios cóncavos situados en la ladera (hornos de ladera) que bien pudieron servir igualmente para la tostación del mineral. Aunque no podemos asegurar que se trate de tales instalaciones, si ambas se correspondieran con hornos de tostación, podría hablarse de varias tostaciones: una primera tostación llevada a cabo en esos hornos de ladera fuera de la *officina*, tal y como los relacionaría García Romero (2002: 655-656; 2003: 203), y una

segunda tostación en las estancias orientales de la *officina*.

Por otro lado, justo al sur de la batería 2 se halló un depósito de limos (Fig. 10). Estos limos, de color verdoso, se encontraban en una estancia de adobes con base de piedra que se identificó inicialmente como un lavadero de mineral, aunque entre los limos se hallaron pequeños restos de escorias. Junto a este posible lavadero, se halló un horno circular que no tenía nada que ver en su estructura con el resto de los hornos hallados hasta el momento y del que todavía no se ha podido determinar su función (Fig. 11). Finalmente, el hallazgo de un ponderal de plomo indica que esta *officina metallorum* también acogió labores de tipo administrativo durante las cuales el metal producido era pesado y registrado (Barrios Rodríguez – Moncó García 2021).

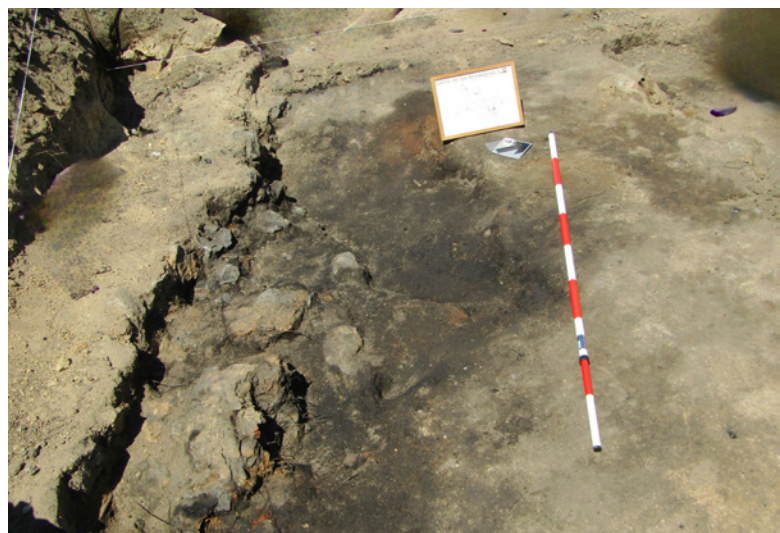


FIG. 9 Marca de horno de tostación.



FIG. 10 Depósito de limos con estructura de combustión anexa.

Pese a que estos datos nos indican la concentración en un área concreta de prácticamente todo el proceso productivo (triturado, lavado, tostación y reducción), las reducidas dimensiones de las estancias presuntamente destinadas a estos fines, en comparación al enorme proceso de producción que debería acompañar a las grandes baterías de hornos, nos lleva a dudar de aquellas primeras interpretaciones. Así pues, pensamos que el proceso de tostación, de realizarse, debería involucrar un sistema de hornos de magnitud similar a los hornos de reducción. Del mismo modo, dada la cercanía de los arroyos a las bocaminas, sería más lógico que un primer triturado y lavado fuera realizado cerca de la zona de extracción del mineral y no junto a la zona de reducción. Lamentablemente, los trabajos que se hicieron en las zonas de las bocaminas a comienzos del siglo XX dificultan situar otros posibles espacios de triturado y lavado del mineral.

3. EL CERRO DE LOS ALMADENES EN EL CONTEXTO ARQUEOMETALÚRGICO PENINSULAR: LAS OFFICINAE METALLORUM DE HISPANIA

3.1. Otros yacimientos peninsulares con instalaciones metalúrgicas destinadas a la producción de cobre

Posiblemente, el principal centro productor de cobre peninsular con el que se deberían comparar las infraestructuras del Cerro de los Almadenes sea aquel de Río Tinto. Lamentablemente las investigaciones sobre los centros romanos de procesamiento del mineral son recientes y hay que esperar a la publicación de los resultados. En cuanto a los poblados minero-metalúrgicos, las investigaciones de urgencia que se llevaron a cabo a finales de los años sesenta ya revelaron las primeras estructuras al respecto (Luzón Nogué – Ruiz Mata 1970).

Recientemente, se han documentado por parte del proyecto Exploración Arqueometalúrgica de Huelva varios poblados asociados a las diferentes áreas de extracción (Pérez Macías – Delgado Domínguez – Regalado Ortega 2012: 51; Pérez Macías – Iglesias García – Delgado Domínguez 2022: 29-30). Las investigaciones llevadas a cabo concretamente en Cortalago han tenido como resultado el descubrimiento de varias

áreas domésticas, a juzgar por los materiales encontrados, de época altoimperial (siglo I-II d.C.), momento que coincide con el pico de actividad metalúrgica en Río Tinto en época romana (Pérez Macías – Iglesias García – Delgado Domínguez 2022: 31-32). Este sería el principal espacio de producción minero-metalúrgica del cobre en Río Tinto, del que dependerían otros centros menores (Pérez Macías – Iglesias García – Delgado Domínguez 2022: 45), aunque todavía no se ha identificado ninguna *officina metallorum* entre el conjunto de estructuras localizadas.

De entre esos centros dependientes destaca Tres Cruces, donde se documentaron muros de gran potencia y restos de hornos de cobre (Pérez Macías – Iglesias García – Delgado Domínguez 2022: 32-33). Por otro lado, se encontraría el yacimiento del Cerro del Moro, cuyas estructuras y materiales, junto a las escasas dimensiones del escorial asociado, lo orientan más a un espacio administrativo de gestión de las minas y de la producción metalúrgica, así como sede de una guarnición militar, aunque de corta trayectoria (Pérez Macías – Iglesias García – Delgado Domínguez 2022: 42-43). Todos estos poblados se han identificado con el *vicus* de Urium que aparece citado en varios textos clásicos (Pérez Macías – Iglesias García – Delgado Domínguez 2022: 45).

En relación al proceso metalúrgico que se llevó a cabo en Río Tinto, según M. A. Hunt Ortiz (1987-1988: 604), la ausencia de matas de cobre indicaría que el mineral sería completamente calcinado y no tostado antes de introducirlo al horno, es decir, que se eliminaría totalmente el azufre en un proceso previo a su introducción en los hornos de reducción. En el Cerro de los Almadenes, a la espera de estudios arqueometalúrgicos más detallados, ni se han detectado matas de cobre, ni se puede asegurar que la zona oriental de la *officina metallorum* albergara hornos de tostación.

Al norte de Río Tinto, sí se ha hallado una *officina metallorum* orientada a la producción de cobre, nos referimos a aquella de Aguas Teñidas (Almonaster, Huelva) (Pérez Macías *et al.* 2013). Esta instalación con varias estancias contó, al igual que el Cerro de los Almadenes, con un escorial justo frente a él, resultado de los desechos de la producción metalúrgica (Pérez Macías *et al.* 2013: 224-225). Lamentablemente tampoco se han conservado los hornos de reducción, tan solos sus restos como consecuencia de ser

desmantelados tras varias utilidades. Sin embargo, estos debían de encontrarse fuera del edificio y no dentro como en el Cerro de los Almadenes y se han calculado para ellos diez hornadas, cifra muy superior a las documentadas en el Cerro de los Almadenes (Pérez Macías *et al.* 2013: 226).

Al igual que la *officina metallorum* del Cerro de los Almadenes, la de Aguas Teñidas también cuenta con espacios aterrizados al disponerse en una pendiente (Pérez Macías *et al.* 2013: 226) y también se observan estancias que bien pudieron estar destinadas a otras fases del proceso metalúrgico o bien al almacenamiento de mineral y combustible. En este sentido, Pérez Macías *et al.* (2013: 226-228) consideran que otras estancias dentro de la *officina* de Aguas Teñidas también pudieron tener como objetivo la tostación y advierte de posibles segundas tostaciones que dieran como resultado unas matas más fácilmente fundibles en los hornos de reducción.

Sin embargo, también reconocen que cabe la posibilidad de que los minerales fueran directamente calcinados en los hornos de reducción al no constarse restos de tostación en ninguna de esas estancias anexas, tal y como se ha considerado para el caso de Río Tinto. Esta misma incógnita se nos presenta nuevamente en el Cerro de los Almadenes, donde, si bien tenemos restos de grandes combustiones en aquellas estancias orientales de la *officina metallorum* y que se han interpretado como espacios de tostación, no podemos asegurar de que procedan de ese tipo de procesos, por lo que sería igualmente factible que tostación y reducción se produjeran en los mismos hornos.

Dentro de este conjunto de *officinae* destinadas a la producción de cobre, debemos destacar también aquella de Azinhal (Aljustrel, Portugal). Si bien al igual que en Aguas Teñidas no se han conservado los hornos de reducción, que al igual que en aquella se podrían encontrar fuera de la *officina*, si contamos con una serie de estancias bien compartimentadas y destinadas a tareas concretas dentro del procesamiento del mineral (Pérez *et al.* 2012).

Así pues, esta *officina* cuenta con tres espacios concretos: uno destinado al almacenamiento del mineral triturado, cerrado y bajo techo, otro al proceso de tostación y, finalmente, un último destinado a la selección de aquellos óxidos susceptibles de ser fundidos. Destaca el hecho de que aquella estancia donde se

guardaba el mineral triturado se encontraba cubierta con *tegulae e imbrices*, con el objetivo de que la lluvia no alterara químicamente los minerales, algo que no encontramos en el Cerro de los Almadenes; como tampoco se ha identificado *a priori* en los Almadenes un espacio concreto destinado a la selección de materiales con más cobre para su reducción (Pérez *et al.* 2012).

Finalmente, en la vertiente sur de Sierra Morena contamos con el enclave de Munigua, donde se han localizado actividades mineras de explotación del cobre y hierro entre el siglo I a.C. y el IV d.C. En el caso de la explotación de minerales cupríferos, destaca el hecho de que los filones sean de malaquita y azurita, carbonatos producidos por una mineralización secundaria superficial por exposición de materiales sulfurosos (calcopirita) a la acción ambiental. En este caso, estos filones tienen una profundidad de 8 a 15 m (Schattner – Ovejero Zappino – Pérez Macías 2012).

Por lo que respecta a la metalúrgica del cobre, no se han conservado hornos, pero se ha podido reconstruir el proceso productivo a partir de las escorias. Si bien se tienen datos de los procesos de reducción, no así de tostación. Esto se explica por el simple hecho de que lo que se está reduciendo son carbonatos de cobre que no requieren oxidación previa. También aquí se ha propuesto que directamente los sulfuros de cobre como la calcopirita fueran directamente calcinados en los hornos de reducción (Schattner – Ovejero Zappino – Pérez Macías 2012). En el Cerro de los Almadenes, aunque pudieron existir y ser explotados filones superficiales de azurita, sabemos que el mineral explotado fundamentalmente fue la calcopirita. Pese a ello, insistimos en que no es posible determinar con total seguridad un proceso de tostación previo a la reducción.

3.2. Yacimientos peninsulares con instalaciones metalúrgicas destinadas a la producción de otros metales.

Por lo que respecta a otras instalaciones metalúrgicas de la Península Ibérica que no estuvieron orientadas a la producción de cobre, podemos observar ciertos aspectos igualmente susceptibles de comparación.

En este sentido podemos mencionar la *officina metallorum* hallada en Sines (Portugal) donde se han constatado tres hornos de reducción de hierro fechados entre el siglo I y el III d.C. (Pereira – Galhano 2019: 26-28). Estos hornos no se han conservado en positivo,

sino solo su base, lo cual impide una clara comparativa con los hallados en el Cerro. Sí se puede decir que estaban revestidos de arcilla y utilizaban ventilación natural. No obstante, sus mayores dimensiones y la presencia de bases construidas en ladrillo los alejan de los hornos del Cerro de los Almadenes.

A esta debemos sumar la *officina metallorum* de Los Puertos de Santa Bárbara (Cartagena) orientada a la obtención de plata y plomo a partir de la galena argentífera (Bellón Aguilera 2008; 2017). En este lugar se han hallado prácticamente todas las estructuras asociadas al proceso productivo. Éstas se concentraron en un área muy concreta donde se aprecia la disposición en niveles descendentes de cada uno de los procesos. Tal es así que, bajo las bocaminas, se sitúan los espacios de triturado y lavado del mineral, más abajo los hornos de tostación y por último los de reducción; a los que se añaden las copelas para la separación de la plata del plomo. Tal y como sostiene J. Bellón Aguilera (2017: 124), pudieron darse procesos de triturado y lavado secundarios entre la tostación y la reducción.

Por otro lado, en el yacimiento romano de Brage-lonne, en la zona minera de la Sierra de Cartagena-La Unión, en donde también se explotaron las vetas de galena argentífera, se han localizado junto a las zonas de extracción del mineral los espacios de triturado y lavado (García Romero 2002: 360; Antolinos Marín – Fabre – Rico 2010: 156-157).

Pero, sin lugar a dudas, en el entorno de Cartagena destaca la *officina metallorum* de El Gorguel; concretamente, la estructura hallada en el sector Fundición el Gorguel (siglo II a.C. – I d.C.). Aquí se encontraron en un mismo edificio espacios de triturado y lavado del mineral junto a otros de almacenamiento, de reducción de las galenas y de fundición de plomo y plata. Los hornos hallados aquí solo guardan parecido con los hallados en el Cerro de los Almadenes por su disposición en batería de cuatro hornos; pero de ellos solo se han conservado los fondos y, a diferencia del Cerro de los Almadenes, en Fundición el Gorguel sí se ha documentado la fase de fundición final junto a la de reducción (Antolinos Marín 2012).

Si nos desplazamos a la zona de Sierra Morena, nos encontramos con el poblado minero-metalúrgico de Valderrepisa (Fuencaliente, Ciudad Real) donde, si bien no se han conservado las estructuras destinadas al proceso metalúrgico, sí se han documentado

grandes escoriales fruto de la reducción de galenas (Fernández Rodríguez – García Bueno 1993: 33). Este poblado está situado a cierta distancia de las áreas de extracción y cuenta con una serie de edificios que se han interpretado como posibles lugares de almacenamiento del mineral y destinados a su lavado (Fernández Rodríguez – García Bueno 1993: 29-31). De hecho, se ha documentado una extraordinaria red hidráulica a base de tuberías de plomo y cerámica que abastecerían de agua al poblado y a los posibles lavaderos (Fernández Rodríguez – García Bueno 1993: 31). Por lo que nuevamente tenemos un ejemplo de espacios de lavado no precisamente adosados a las áreas mineras.

Por su parte, en la propia ciudad de Munigua también se llevaron a cabo labores de metalurgia del hierro junto a aquellas de cobre que ya hemos comentado. Se han hallado dos hornos que han conservado parte de su estructura a base de arcilla y ambos excavados parcialmente en el suelo. A diferencia de los hallados en el Cerro de los Almadenes, para éstos de Munigua se ha propuesto una cubierta abovedada sin armazón de piedra en su primer alzado. De los dos hornos, uno cuenta con una cubeta de sangrado, por lo que se ha interpretado que el otro que no la tiene estaría destinado a tareas de forja. Sin embargo, no se han encontrado restos de hierro producto de las labores de trabajo del instrumental final, lo cual significa que la fabricación definitiva de herramientas se haría en otro lugar, ya dentro de la propia ciudad, ya en otros espacios urbanos o rurales (Schattner – Ovejero Zap-pino – Pérez Macías 2012).

Por último, no podemos dejar de lado las instalaciones metalúrgicas orientadas a la producción de hierro de Sierra Menera (Teruel), donde los escoriales localizados revelan la existencia de una región de alta producción metalúrgica; hasta un total de 92, de los cuales 43 se han datado en época prerromana y romana.

De entre ellos, la instalación metalúrgica más llamativa es la de La Juncada (Peracense, Teruel), que no se puede denominar *officina metallorum* dado que está datada en época prerromana entre los siglos V y III a.C., donde se han hallado tres hornos de reducción de hierro. Estos hornos, al igual que los del Cerro de los Almadenes, están excavados ligeramente en la roca madre y cuentan con un forrado interior de barro que quedaba completamente cocido tras el proceso de reducción, debiéndose añadir una nueva capa tras

cada hornada. Sin embargo, al contrario de los hornos del Cerro de los Almadenes, el almacén externo de los hornos de La Juncada debía de permanecer estable, independientemente de las reparaciones que se hicieran al forrado de barro interno (Fabre *et al.* 2012; Villagordo Ros *et al.* 2014).

Nada parece indicar que los tres hornos fueran contemporáneos, al contrario, se piensa incluso que dos hornos fueron desmantelados para construir un tercero, lo cual se explica por la posible temporalidad de los trabajos metalúrgicos concentrados en una época concreta del año, es decir, una vez se abandonaba y se regresaba al año siguiente los hornos se habían arruinado y había que rehacerlos o construirlos nuevos. Además, estos hornos de hierro sí cuentan con las toberas, dos por cada horno situadas en los laterales de la estructura; inexistentes en los hornos de reducción de cobre del Cerro de los Almadenes. Del mismo modo, se considera que los hornos debían contar con una boca de acceso, puesto que, justo en la pared del horno que no se ha conservado y que coincide con el espacio intermedio entre dos losas dispuestas de manera vertical, se hallaron restos del sangrado de la escoria (Fabre *et al.* 2012; Villagordo Ros *et al.* 2014).

Por otro lado, a diferencia del Cerro de los Almadenes, La Juncada carece de instalaciones anexas destinadas a la manipulación previa del mineral, con la salvedad de unos pequeños espacios donde la acumulación de mineral y combustible indican la presencia de pequeños almacenes. Pese a ello, el mineral encontrado sí presenta indicios de triturado y tostación (Fabre *et al.* 2012; Villagordo Ros *et al.* 2014).



FIG. 11 Detalle de estructura de combustión anexa al lavadero.

4. DOS EJEMPLOS DISTANTES DE INSTALACIONES METALÚRGICAS DE COBRE: AUTUN (FRANCIA) Y AYN SOUKHNA (EGIPTO)

4.1. Un barrio metalúrgico de época galorromana en Augustodunum (Autun, Francia)

Fundada por el emperador Augusto y originalmente conocida como *Augustodunum* (hoy Autun), esta ciudad romana sustituyó a Bibracte como capital de los eduenos a partir del siglo I a.C. Las operaciones de salvamento que se realizaron entre 1992 y 1993 en la zona del Instituto Militar con motivo de su ampliación sacaron a la luz un interesante barrio artesanal en donde destacaron las actividades metalúrgicas. Este barrio se situaba intramuros, pero adosado a la muralla de la ciudad y ha sido fechada su actividad entre el siglo I y el III d.C. (Chardon-Picault – Pernot 1999: 11-13). Las instalaciones metalúrgicas se hallaron dentro de estancias, las cuales se agrupaban formando manzanas (Chardon-Picault – Pernot 1999: 100). Los restos encontrados indican una actividad metalúrgica en torno a la fabricación de objetos de base cobre (Chardon-Picault – Pernot 1999: 231).

La tipología de hornos hallada aquí difiere mucho de la que apareció mayoritariamente en el Cerro de los Almadenes. En primer lugar, se encuentra un tipo de horno rectangular abierto y de baja profundidad que alcanzaría una temperatura moderada; normalmente están delimitados por ladrillos o bloques de arenisca. También existen hornos circulares y rectangulares destinados a la fusión del metal que, a diferencia de los anteriores, estaban excavados en el suelo con el objetivo de alcanzar una temperatura mayor (Chardon-Picault – Pernot 1999: 287-290).

Otros hornos están asociados a trabajos de finalización del objeto y que solo requerían una temperatura baja para calentar el metal, están poco excavados en el suelo, son rectangulares y cuentan con bases y paredes de ladrillo (Chardon-Picault – Pernot 1999: 290-291).

De entre todos estos formatos, destaca un tipo de horno muy particular del que solo existen en Autun dos ejemplos (Fig. 12). Se trata de una estructura sobre el suelo cuya base del horno está compuesta por capas de arcilla rubefactada sobre una estructura en piedra

circular. Al parecer, el alzado de la estructura estaba realizado en ladrillo (Chardon-Picault – Pernot 1999: 291-292).

Por lo que respecta a los restos materiales, destacan los moldes de arcilla para la fabricación de objetos en bronce como fibulas y campanillas, moldes en caliza utilizados para la fabricación de recipientes, crisoles para la fundición de los metales, así como los restos de metal fundido, cobre y bronce desechado, y herramientas líticas tales como pulidores, yunques y martillos (Chardon-Picault – Pernot 1999: 239-278).

Finalmente, otras estructuras también destacadas son aquellas destinadas al almacenamiento de agua y que se han interpretado como piletas de pulimentado por la presencia de sales de cobre y ceniza halladas en su interior (Fig. 13). Junto a ellas, también debemos mencionar otras estructuras de almacenamiento, como aquellas destinadas a contener carbón y los basureros con restos de moldes (Chardon-Picault – Pernot 1999: 294-296).

Todos estos restos están repartidos entre diferentes estancias, las cuales, aunque agrupadas en manzanas,

debieron constituir talleres independientes. En algunos de ellos se llevaba a cabo todo el proceso de fusión y finalización/modelado del objeto en bronce y, en otros, solo se llevaba a cabo procesos de finalización/modelado del objeto (Chardon-Picault – Pernot 1999: 300-302).

Así pues, las evidencias arqueológicas indican que, tanto en lo que respecta a los hornos y demás estructuras, como en lo tocante a los materiales encontrados, todos estos talleres trabajaban con el metal ya procesado, no viéndose en el registro arqueológico ningún rastro de actividad de reducción del mineral y mucho menos de tratamiento previo de dicho mineral. Del mismo modo, los restos materiales y utensilios nos indican que en estos talleres se llevaba a cabo la fabricación y finalizado de objetos metálicos para su distribución. Por tanto, en todo el registro arqueológico de Autun solo está representada la fase final de fabricación de objetos en cobre y bronce a partir de metal fundido y en ningún caso la fase previa de obtención de ese metal. Evidentemente, este metal debía obtenerse del procesamiento del mineral, proceso que, entendemos, se llevarían a cabo en otro lugar, posiblemente cercano a las áreas de extracción de las materias primas.

4.2. El complejo minero-metalúrgico de Ayn Soukhna (Egipto)

El yacimiento de Ayn Soukhna se encuentra en la costa occidental del Golfo de Suez, a unos 120 km de El Cairo. Desde su descubrimiento en 1999 y el inicio de las investigaciones dos años después, ha pasado a ser uno de los principales complejos metalúrgicos descubiertos del antiguo Egipto durante el Reino Medio (ca. 2050-1750 a.C.), y que fue el destino de varias expediciones extractivas llevadas a cabo por los faraones Mentuhotep IV, Amenemhat I y Amenemhat III (Castel – Tallet 2011: 1-2).

Dentro del área arqueológica, el *wadi* 2 es el que presenta restos y estructuras que evidencian una organización de la producción metalúrgica más coherente y donde la presencia de grandes acumulaciones de escorias y camisas de horno indican la alta producción de cobre (Castel – Tallet 2011: 5-7). La imagen general del yacimiento es de terrazas artificiales en las vertientes oriental y occidental del *wadi* y en donde se sitúan las diferentes instalaciones metalúrgicas que

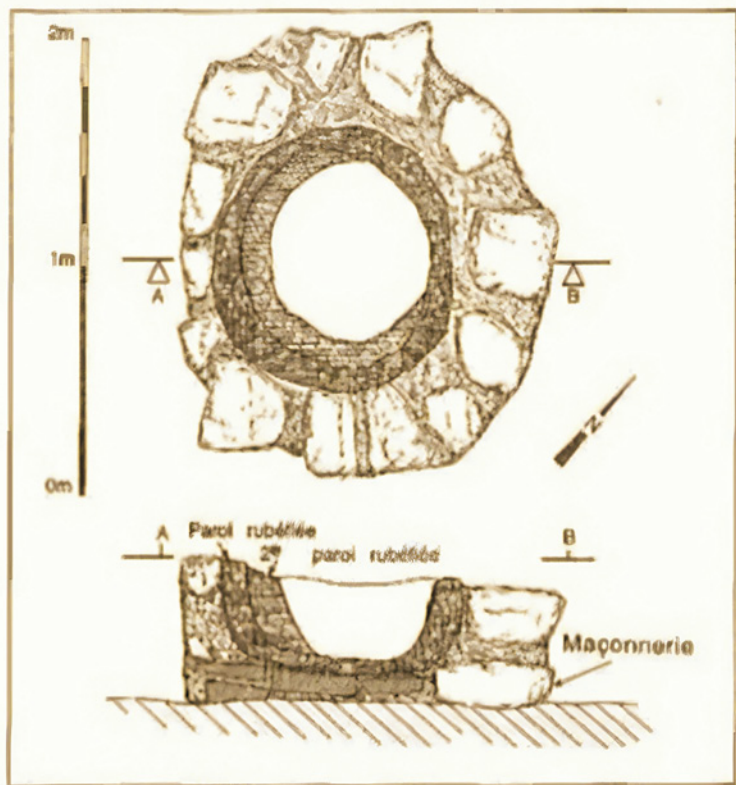


FIG. 12 Corte y plano del horno hallado en la estancia 1-9 de las excavaciones emprendidas en el Instituto Militar de Autun (Chardon-Picault – Pernot 1999: 292, fig. 156).

articulan la cadena de operaciones desde la reducción del mineral a la producción del lingote de cobre. Estos talleres, por tanto, cuentan con tres tipos de instalaciones, una serie de hornos de reducción agrupadas en baterías de cuatro unidades de media, espacios de triturado y cribado de las escorias y hornos abiertos para la manipulación del metal ya procesado. Si bien todos los talleres cuentan con estas funciones, su organización varía, contando algunos con estancias en donde se concentran todos los procesos y otras en donde los procesos se reparten en diferentes estancias (Castel – Tallet 2011: 8).

Así pues, en las terrazas del *wadi* se han localizado tres talleres metalúrgicos. El primero de ellos, situado en la vertiente oriental del promontorio cuenta con tres salas. La primera (Fig. 14) contiene cuatro hornos de reducción de cobre contruidos con piedra arenisca y con una altura aproximada de un metro; en la esquina noroccidental de la sala se encuentra un horno de fundición de sección circular. Por lo que respecta a los restos materiales, aquí se han hallado yunques y una pileta que debía de contener agua para las labores metalúrgicas. La segunda sala de este primer taller, conectada con la anterior, contaba con un yunque, una losa de machaqueo y una gran cantidad de escorias trituradas. Por su parte, la tercera sala cuenta con otros cuatro hornos de reducción y dos losas de machaqueo de escorias (Castel – Tallet 2011: 8-11).

En cuanto al segundo de los talleres, situado en la vertiente occidental, cuenta con una sala central equipada con un horno de fundición rectangular y salas anexas en donde se encontraron los hornos de reducción, concretamente en tres de ellas, agrupados en baterías de cuatro hornos cada una (Castel – Tallet 2011: 12-17).

Finalmente, el tercero de los talleres, también localizado en la vertiente occidental, cuenta con dos estancias con hornos de fundición y hasta nueve hornos de reducción repartidos en dos salas. En la segunda de estas salas se han hallado igualmente losas de machaqueo, así como de restos de escorias trituradas y restos de cañas de arcilla con las que se insuflaría aire de manera artificial al horno de fundición (Castel – Tallet 2011: 17-21).

Así pues, los hornos de reducción hallados en Ayn Soukhna suelen agruparse en baterías de cuatro hornos cada una y se encuentran excavados en la roca

(Fig. 15), lo cual les da solidez y permite la mínima pérdida de calor en el proceso. Por su parte, aquellos que no se construyeron contra la pared natural también aparecen contruidos de cuatro en cuatro. En su interior, cada horno cuenta con un cilindro hueco contruido en arcilla que forma la camisa del horno con un acceso frontal y la chimenea (Fig. 16). Se calculan unos cinco usos de cada horno antes de ser desmantelados, tras cada uso debía ser forrado de arcilla de nuevo.

En cuanto al proceso de fabricación del horno, éste consistía en un nivelado del suelo sobre el que se situaban bloques de piedra cuadrangulares cuya superficie interior se forraba con piedras más pequeñas y arcilla, se dejaba un espacio sin construir sobre el que se situaba un dintel, el cual constituiría la puerta del horno y, sobre esta base, se alzaba la chimenea hasta una altura aproximada de entre 0,75 y 1,20 m con un diámetro interno de entre 0,30 y 0,40 m. En cuanto a los hornos de fundición, estos siempre se encuentran adosados a una pared, todos tienen forma de U preparados para acoger el crisol que se situaría dentro (Castel – Tallet 2011: 30-31).

Además de todas estas instalaciones, se han localizado igualmente en Ayn Soukhna, las galerías desde donde se extraía el mineral que luego sería procesado (Abd el-Raziq – Castel – Tallet 2016).

El proceso metalúrgico que se siguió en Ayn Soukhna es paradigmático de la producción de cobre.

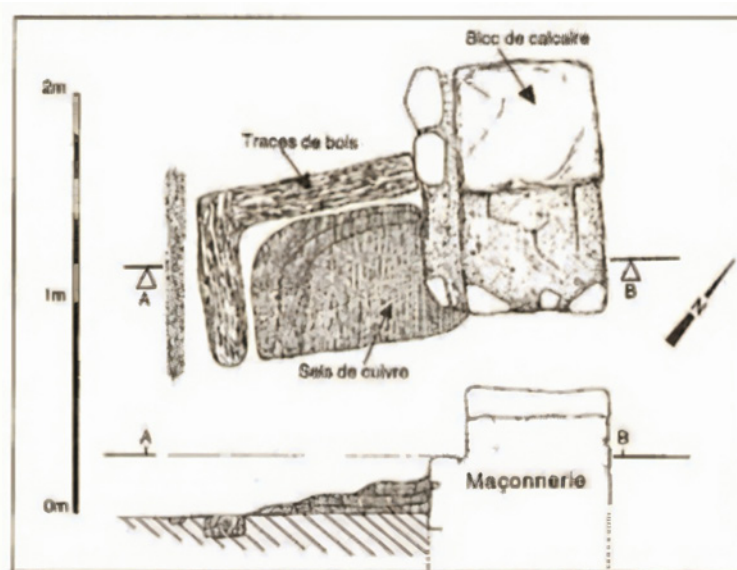


FIG. 13 Instalación con presencia de sales de cobre hallada en la estancia 1-29 de las excavaciones emprendidas en el Instituto Militar de Autun (Chardon-Picault – Pernot 1999: 294, fig. 158).

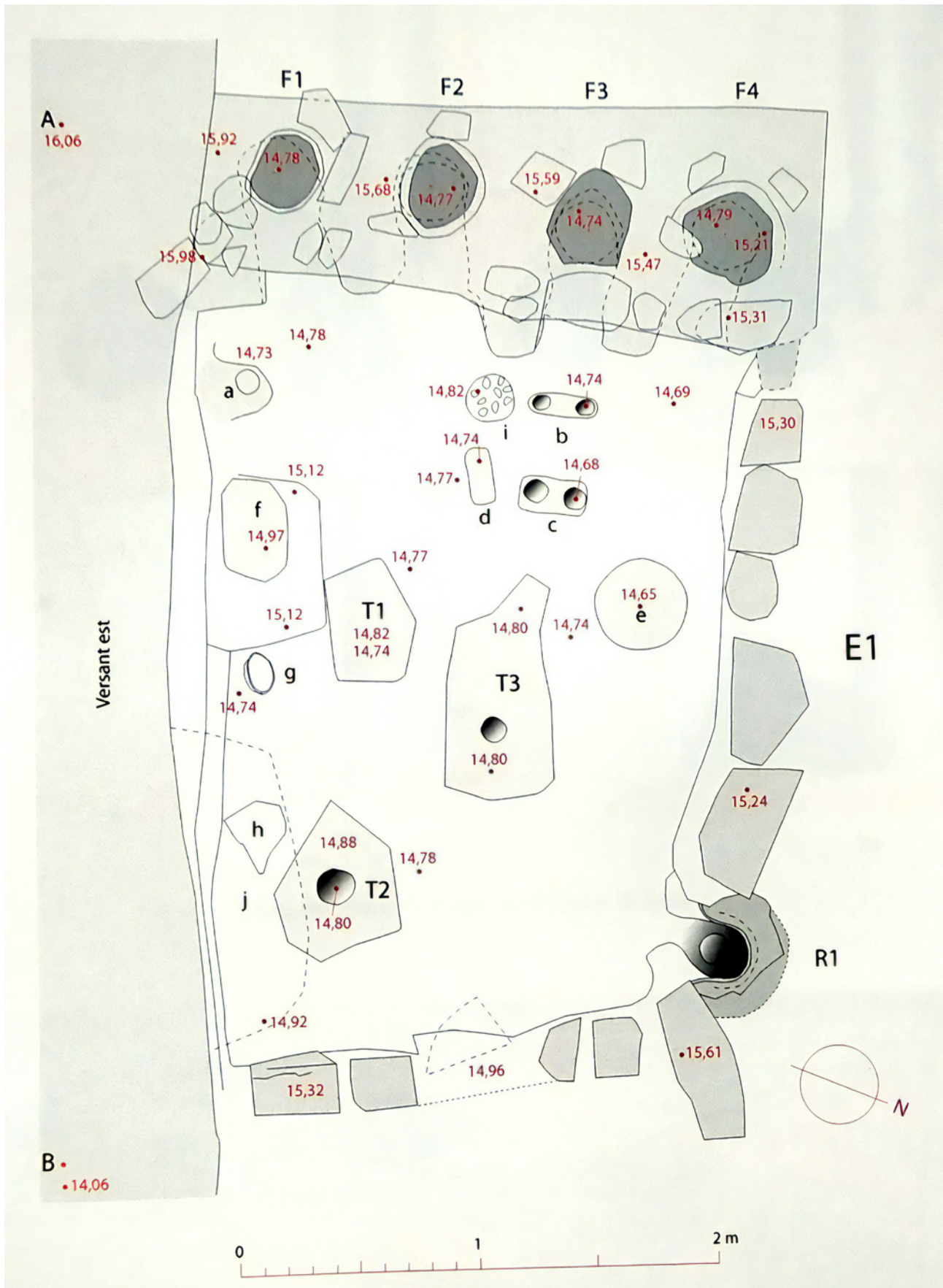


FIG. 14 Plano de la estancia E1 del taller 1. En el se aprecia la batería de cuatro hornos de reducción (F1, F2, F3 y F4) en su parte superior, los restos de recipientes (a y e), la acumulación de escorias trituradas (j), las instalaciones para el triturado (T1, T2 y T3) y el horno de fusión (R1) (Abd el-Raziq – Castel – Tallet 2011: 63, fig. 19).



FIG. 15 Fotografía de los hornos de reducción de la estancia E1 del Taller 1 de Ayn Soukhna (Abd el-Raziq – Castel – Tallet 2011: 65, fig. 20).

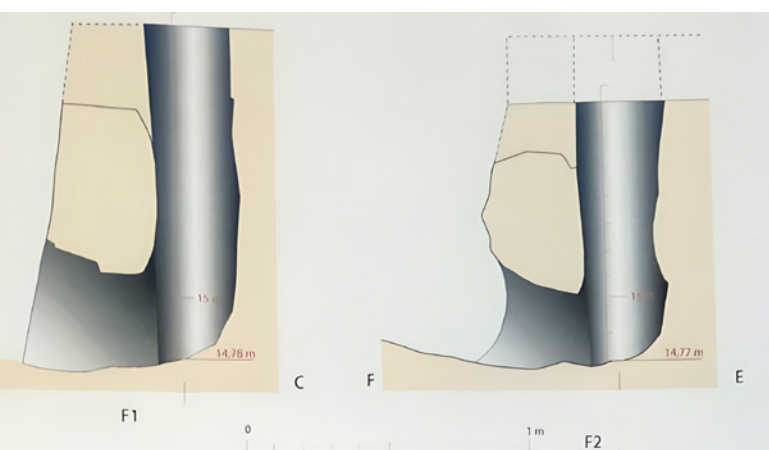


FIG. 16 Corte de los hornos de reducción de la estancia E1 del Taller 1 de Ayn Soukhna (Abd el-Raziq – Castel – Tallet 2011: 65, fig. 21).

En primer lugar, tras su extracción de la mina, el mineral era triturado, bien dejándolo en forma de polvo bien en trozos de pequeño tamaño no mayores de 1 cm³ (Fluzin 2011: 160-161). En el caso del mineral utilizado en Ayn Soukhna, la malaquita, no requiere ser tostada al no ser un mineral sulfurado que deba oxidarse antes de ser reducido² (Fluzin 2011: 151). Así, una vez triturado, era introducido junto con el combustible en los hornos de reducción. Por lo que respecta a los combustibles, se ha demostrado el uso de madera de acacia y excrementos de asno en el proceso (Verly *et al.* 2021: 14).

² Los minerales sulfurados ricos en cobre son más abundantes, de ahí que se explotaran posteriormente con más intensidad una vez se descubrió la técnica a comienzos del II milenio a.C. (Rapp 2009: 160).

La ventilación de los hornos de reducción parece que fue natural a través de su apertura frontal dado que no han revelado ni restos de toberas ni otras formas de insuflar aire de manera artificial; a esto se suma el hecho de que la posición de los hornos podría aprovechar los vientos naturales (Fluzin 2011: 161-164). Estos hornos alcanzarían temperaturas cercanas a los 1300°C que permitirían que el metal fundido, más denso que la escoria, se depositara en el fondo. El proceso de reducción del metal da como resultado cobre fundido, pero con escoria residual que debía ser machacada para extraer las láminas de cobre fundido.

Los restos de escoria encontrados en Ayn Soukhna revelan un minucioso triturado con el objetivo de no dejar un solo gramo de metal dentro de ellas (Fluzin 2011: 152-153). Seguidamente se producía la fusión del metal y la fabricación del lingote, el cual era llevado a cabo en hornos de fusión abiertos en donde se depositaba el crisol con el metal dentro. Las labores de fundido sí requirieron de ventilación artificial a partir de cañas de arcilla por las que se soplaba para alimentar el fuego del horno de fusión que calentaba el crisol (Fluzin 2011: 164-165).

5. DISCUSIÓN

En el Cerro de los Almadenes se han hallado las estructuras que *a priori* englobarían toda la cadena productiva desde la mina hasta la extracción del cobre. Sin embargo, tras revisar otras instalaciones metalúrgicas similares tanto peninsulares como extra-peninsulares, principalmente de cobre, pero también destinadas a la producción de otros metales, podemos hacer interpretaciones más ajustadas o incluso reinterpretaciones de esas mismas estructuras.

En primer lugar, la localización de las bocaminas y pozos mineros cercanos en las inmediaciones del Cerro de los Almadenes son pruebas claras de la procedencia y características del mineral utilizado (calcopirita).

En cuanto a los procesos de triturado y lavado del mineral, en el Cerro de los Almadenes se propuso una estancia que albergaba restos de azurita para el primero y un depósito de limos para el segundo. No obstante, en aquellos yacimientos de Aguas Teñidas y Azinhal, los que más se asemejarían a la *officina*

metallorum hallada en el Cerro de los Almadenes, si bien ambos parecen contar con espacios de almacenamiento del mineral triturado, ninguno da muestras claras de que en alguna de sus estancias se llevara a cabo el triturado mismo del mineral, únicamente su almacenamiento y, de entre ellas, solo la de Azinhal cuenta con un verdadero almacén techado y protegido de las inclemencias atmosféricas.

Por otro lado, tampoco se han hallado ni en Aguas Teñidas ni en Azinhal espacios claramente definidos como lavaderos. Por el contrario, en otras instalaciones metalúrgicas donde se procesaba plata y plomo, como son aquellas del entorno de Cartagena, encontramos que los espacios de triturado y de lavado del mineral sí se encuentran junto a las áreas de reducción. Así se aprecia en Bragelonne. Por su parte, en Los Puertos de Santa Bárbara se concentró también en un mismo lugar todo el proceso desde la extracción del mineral de la mina hasta su reducción. No obstante, aquí la disposición de áreas de triturado y lavado del mineral junto a las áreas de reducción se explica fácilmente por la cercanía misma de las propias minas.

Algo similar pasaría en Ayn Soukhna, donde los utensilios de triturado y lavado se encuentran junto a las áreas de reducción, pero porque las minas están igualmente cerca. Sin embargo, frente a esto, contamos con El Gorguel donde los procesos de triturado y lavado se encuentran junto a los espacios de reducción y fundición y no junto a la mina. Del mismo modo, en la zona de Sierra Morena, en Valderrepisa, se han hallado espacios de almacenamiento y posibles espacios de lavado del mineral alejados de las áreas mineras.

Por tanto, de todos los yacimientos descritos, solo dos cuentan con labores de triturado y/o lavado dentro de las *officinae* y alejadas de los lugares de extracción del mineral (El Gorguel y Valderrepisa) y en ninguno de ellos se producía cobre. Por lo que, en el resto, ya fueran de cobre o de otro metal, estas labores debían realizarse cerca de las áreas mineras, para luego sí almacenarse el mineral en las *officinae*, ya triturado y, presumiblemente, lavado. Estos datos nos llevan a plantear otras posibles funciones para aquellos espacios originalmente interpretados como de triturado del mineral y el lavadero en el Cerro de los Almadenes, localizándose los verdaderos espacios de triturado y lavado del mineral en las zonas cercanas a las bocaminas. En este sentido, una prospección

mediante tecnología LiDAR realizada hace dos años (Morato Marqués – Álvarez García 2023) ha revelado la presencia de posibles lavaderos en una zona aterrada cercana al Cerro (Fig. 17).

Por el contrario, la tostación pudo haber tenido lugar en algunas de las estancias tanto de Aguas Teñidas y de Azinhal, todas muy similares a las descritas para el espacio de tostación del Cerro de los Almadenes, por lo que podemos pensar que este paso sí se llevaba a cabo en las *officinae*. En relación a este proceso de tostación, se advierte la posibilidad de que estas instalaciones albergaran solo segundas tostaciones, realizándose las primeras en espacios externos más abiertos, como en aquellos espacios cóncavos que han sido localizados en el sector I del Cerro de los Almadenes, justo al norte de la *officina*. Por el contrario, también existe la posibilidad de que la calcopirita no fuera tostada sino directamente calcinada en los hornos de reducción. En Ayn Soukhna, por el contrario, no se da el caso, pero simplemente porque el mineral que se estaba trabajando allí no requería de una oxidación previa a la reducción.

Muchos autores citados aquí insisten en la posibilidad de que se dieran procesos intermedios entre la tostación (si es que esta se producía) y la posterior fase de reducción, los cuales podrían incluir nuevos machacados y lavados. En este sentido, en Azinhal se ha identificado un proceso intermedio de selección de aquellos minerales más susceptibles de aportar más metal. Estos procesamientos intermedios no tendrían otro objetivo que buscar una mayor concentración del mineral. De hecho, en Ayn Soukhna se ha documentado un triturado de las escorias posterior a la reducción y no sería extraño pensar en un reprocesamiento de las escorias tras la reducción en el Cerro de los Almadenes.

Por tanto, cabe la posibilidad de que aquel lavadero y aquella estancia destinada al triturado del mineral en el Cerro de los Almadenes no sean de triturado y lavado primario sino secundario, lo cual explicaría la presencia de escorias entre los limos del lavadero; aunque en el caso de la estancia destinada al triturado, también cabe la posibilidad de que fuera un almacén de mineral, algo que también está de sobra representado en otras *officinae* peninsulares.

Por lo que respecta al proceso de reducción, ni Aguas Teñidas ni Azinhal han conservado los hornos,

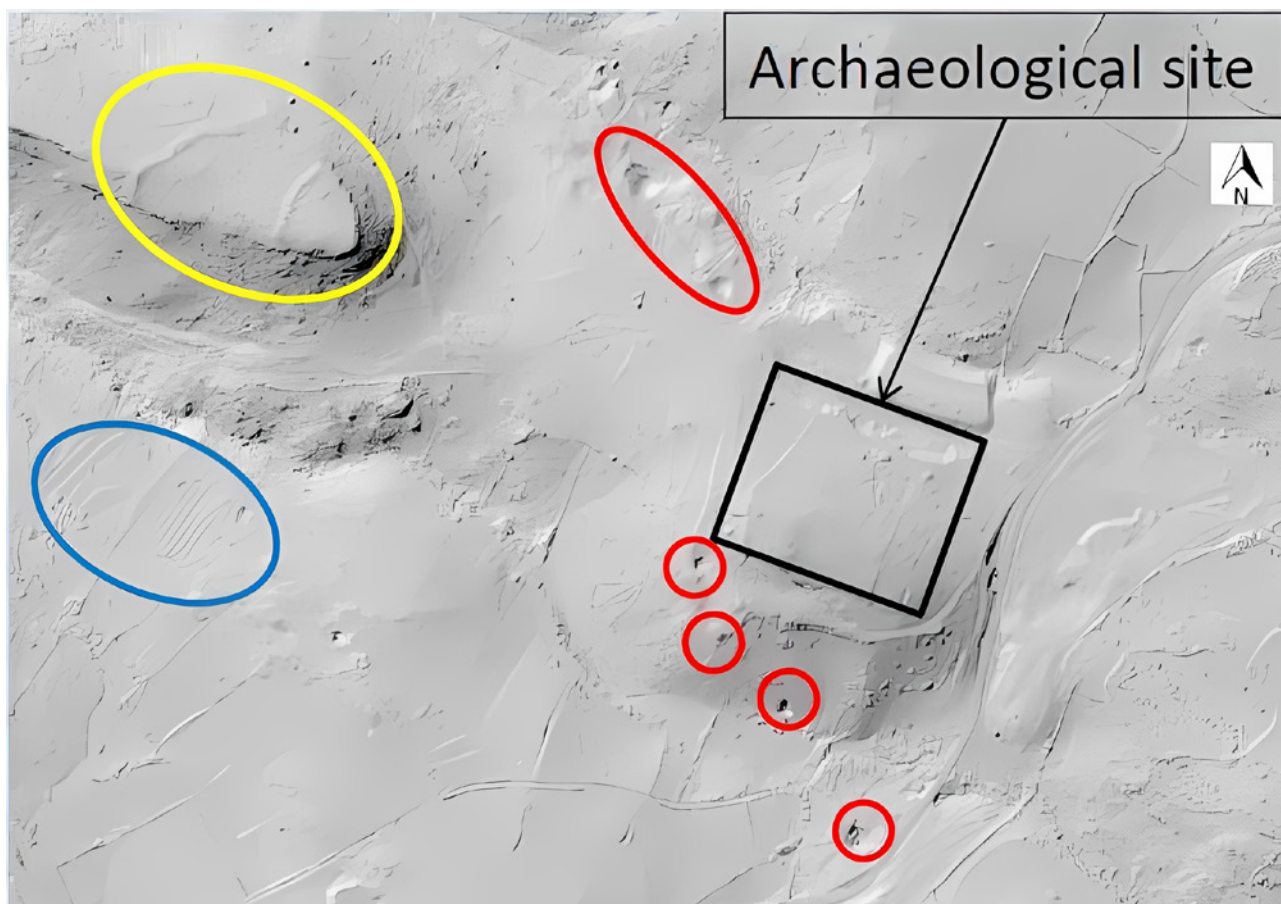


FIG. 17 Prospección LiDAR del entorno del Cerro de los Almadenes donde se puede apreciar el propio yacimiento (en negro) junto a las bocaminas y pozos minero (en rojo) los posibles lavaderos (azul) y un segundo asentamiento en un cerro cercano (amarillo) (Morato Marqués – Álvarez García 2023: 60).

únicamente los escoriales y algunas paredes de horno. Por su parte, en Munigua, en Sierra Morena, tampoco se han conservado las estructuras de horno para la producción de cobre, ni de tostación (que posiblemente no fueron necesarias al trabajarse con carbonatos y no con sulfuros), ni de reducción; únicamente se han localizado los escoriales. Igualmente, en Valderrepisa, de las labores de reducción solo se han conservado los escoriales. Por su parte, los hornos de reducción de hierro hallados en Munigua y La Juncada solo comparten con los del Cerro de los Almadenes su excavación parcial en la roca madre y el uso de arcilla en la construcción.

Así pues, aunque todas las *officinae* muestran que en ellas se llevaba a cabo este proceso (ya fuera dentro del edificio o en las inmediaciones), sólo el Cerro de los Almadenes cuenta con los hornos de reducción de entre aquellas orientadas a la producción de cobre y no cabe comparación con hornos destinados a la reducción de otros metales. Todo esto solo nos permite confirmar que las tareas de reducción, junto a las

de tostación y almacenamiento previos, estaban entre las funciones principales de las *officinae metallorum*.

De este modo, los hornos de reducción de cobre del Cerro de los Almadenes, como elementos únicos hasta el día de hoy en el ámbito peninsular y europeo, deben ser comparados con otros hornos de reducción de cobre más lejanos en el tiempo y en el espacio: las baterías de hornos de reducción de cobre de Ayn Soukhna (Egipto).

En primer lugar, en cuanto al formato del horno, tanto en Ayn Soukhna como en el Cerro de los Almadenes se levantaba la estructura del horno con piedras y arcilla sobre la roca madre y se revestía al interior con una capa de arcilla antes de iniciar la combustión. Sin embargo, los hornos de Ayn Soukhna parece que podían llevar a cabo hasta cinco hornadas consecutivas mediante la aplicación continuada de capas de arcilla hasta que la cámara del horno, empequeñecida por dicha acumulación de capas, obligara al desmantelamiento de la estructura. Por el contrario, en el Cerro de los Almadenes no se han documentado más de tres.

No obstante, si a los datos aportados por Ayn Soukhna añadimos las diez hornadas que se han calculado para los hornos de Aguas Teñidas, podríamos pensar que los hornos del Cerro de los Almadenes todavía tendrían capacidad para más hornadas pero que fueron abandonados antes de su último uso. Por otro lado, si en Ayn Soukhna, los hornos contaban en su fábrica con una boca realizada *ex professo* para la extracción del metal, todo parece indicar que los hornos del Cerro de los Almadenes carecían de dicha apertura y era necesaria la ruptura de una de las paredes para la extracción del producto buscado.

En cuanto al funcionamiento del horno, tanto en los Almadenes como en Ayn Soukhna, combustible y mineral se introducían juntos en el horno. Sin embargo, la ventilación del horno y el aporte de oxígeno en Ayn Soukhna eran naturales. Por el contrario, para el Cerro de los Almadenes los hornos de reducción pudieron contar con una tobera en la que se introduciría el fuelle para aportar el oxígeno necesario para la combustión. No obstante, esa tobera no se ha documentado todavía. Si a esto sumamos el hecho de que en Ayn Soukhna se llegara a una temperatura muy similar a la documentada en el Cerro de los Almadenes (1200°C) sólo con ventilación natural, nos lleva a cuestionarnos si verdaderamente fueron necesarias toberas y fuelles en el Cerro de los Almadenes.

Finalmente, por lo que respecta al último proceso consistente en el refinado del metal y la fabricación de objetos con base cobre, a excepción de El Gorguel, en ninguna de las *officinae* analizadas se han identificado los procesos de refinamiento y fabricación de objetos metálicos en general y, de entre los espacios metalúrgicos destinados a la producción de cobre descritos, solo en Ayn Soukhna y en Autun se han recuperado crisoles y hornos de fusión donde se llevaría a cabo el proceso de refinado y únicamente en Autun se ha documentado la fabricación final de utensilios de base cobre.

Sin embargo, aunque *a priori* estas fases no aparecen representadas en el Cerro de los Almadenes y muy posiblemente se llevaran a cabo en otros espacios cercanos a las zonas de consumo, sí podemos mencionar una estructura que podría indicar que parte de esos procesos se realizaban también en la *officina metallorum*. Nos referimos al horno circular aparecido al sur de las baterías de hornos. Se han encontrado estructuras muy similares a esta en

Autun, donde, tal y como se ha explicado más arriba, se halló un barrio de metalurgistas donde se llevaba a cabo este último paso de la cadena de producción de objetos de base cobre. Por tanto, sería interesante plantear la posibilidad de que esta misma estructura anuncie la presencia en la *officina metallorum* del Cerro de los Almadenes de otros espacios destinados al refinamiento del metal ya reducido y a la fabricación de objetos de base cobre.

6. CONCLUSIONES

Gracias a la comparación entre las estructuras encontradas en el Cerro de los Almadenes destinadas a la producción de cobre con otras instalaciones metalúrgicas, tanto del territorio peninsular como extrapeninsular, orientadas a la producción de cobre o de otros metales, se ha conseguido alcanzar un conocimiento más concreto del funcionamiento de la cadena de producción que se llevó a cabo aquí.

Así pues, el mineral, una vez extraído de las minas situadas en torno al Cerro, era triturado y lavado muy posiblemente cerca de ellas, tal vez en aquellos lugares que se han identificado como lavaderos gracias a las prospecciones por tecnología LiDAR. Este mismo hecho se ha podido observar también en otros yacimientos donde estos procesos mayoritariamente se llevaban a cabo cerca de las áreas de extracción del mineral y no en los espacios reservados a la tostación y la reducción.

Seguidamente el mineral ya triturado y lavado era transportado hasta la *officina metallorum* situada en la ladera nororiental del Cerro donde era almacenado. Llegado el momento, según muchos estudios, este mineral, sustancialmente calcopirita, debía ser tostado para ir reduciendo su contenido en azufre. Cabe la posibilidad de que se llevaran a cabo varias tostaciones, una en las inmediaciones de la *officina*, más masiva, y otra más concreta en el interior. Estas tostaciones podían tener el objetivo de concentrar más el mineral, aplicándole después de las mismas nuevos procesos de triturado y lavado, esta vez sí, en dependencias habilitadas al efecto en la propia *officina*.

Después, el producto de esos primeros procesamientos era introducido en los hornos de reducción

junto con el combustible consistente en madera de pino albar. Estos hornos se encontraban parcialmente excavados en la roca madre y contaban con un primer alzado de piedras y arcilla, una chimenea y un forrado interior solo de arcilla que se rubefactaba, se cocía e, incluso, se vitrificaba durante la combustión. El horno, una vez prendido, alcanzaba una temperatura de 1200°C posiblemente sin ayuda de ventilación forzada. Tras haber alcanzado el punto de fusión, se desmantelaba una de las paredes del horno para extraer la escoria de los niveles superiores y, después, la base del horno con la torta de cobre. Posteriormente se reconstruía esta pared del horno y se daba otra capa de arcilla al interior para repetir el proceso hasta posiblemente más de tres veces.

Finalmente, el cobre podía ser llevado a hornos de refinado como el que posiblemente fue el horno circular encontrado en el límite sur de la zona excavada de *officina* para, finalmente, hacer el lingote de cobre que sería pesado con ponderales de plomo y convenientemente registrado por la administración competente.

A este último proceso podemos añadirle su distribución dado que en otras zonas del Cerro han aparecido monedas romanas fechadas en el cambio de era que conectan el Cerro de los Almadenes con Caesar Augusta, Emerita Augusta, Calagurris, Osca y Carthago Nova así como también se han identificado las calzadas que conectarían el Cerro con otros espacios de consumo, destacando especialmente la denominada La Empedrada en el municipio de Otero de Herreros que conectaba el Cerro con Segovia.

Agradecimientos

Este proyecto de investigación cuenta con el apoyo y financiación de la Dirección General de Patrimonio de la Consejería de Cultura, Turismo y Deporte de la Junta de Castilla y León a través del proyecto “EL YACIMIENTO MINERO-METALÚRGICO DEL CERRO DE LOS ALMADENES. Proyecto de Gestión Patrimonial, Investigación, Conservación y Difusión Arqueológica” (Cod. SUBV-24067-SG). Agradecemos al Excmo. Ayto. de Otero de Herreros su apoyo institucional y financiero que permite el desarrollo de las campañas anuales de excavación e investigación arqueológica.

Bibliografía

- ABD EL-RAZIQ, M. – CASTEL, G. – TALLET, P. (2016) – *Ayn Soukhna III. Les ateliers métallurgiques du Moyen Empire*. El Cairo.
- ALIÓ, J. (1902) – *Bosquejo geológico-minero de las minas de cobresitas en los términos de El Espinar y Otero de los Herreros en la provincia de Segovia*. Madrid.
- ÁLVAREZ GARCÍA, J. – MORATO MARQUÉS, C. – SAN CLEMENTE GEIJO, P. – AYARZAGÜENA SANZ, M. (2024) – La factoría minero-metalúrgica del Cerro de los Almadenes. De las áreas de producción de cobre a los espacios de hábitat y gestión. En ESCRIBANO VELASCO, C. – DEL VAL RECIO, J. M. – ROJO GUERRA, M. A. (eds.) – *Investigaciones arqueológicas en Castilla y León en el siglo XXI*. Valladolid: 301-320.
- ANTOLINOS MARÍN, J. A. (2012) – Centros de producción y administración en el territorio minero de Carthago Nova a propósito de los hallazgos documentados en el Gorguel (Sierra de Cartagena). En OREJAS, A. – RICO, Ch. (eds.) – *Minería y metalurgia antiguas*. Madrid: 63-79 [versión en línea: <https://doi.org/10.4000/books.cvz.17219>].
- ANTOLINOS MARÍN, J. A. – FABRE, J.-M. – RICO, Ch. (2010) – Las minas romanas de *Carthago Noua*. Avance de las investigaciones en la Rambla del Abenque (Sierra de Cartagena). *MASTIA*, 9: 151-177.
- ARBOLEDAS MARTÍNEZ, L. (2019) – Minería y metalurgia en la Hispania romana. En SÁNCHEZ LÓPEZ, E. H. – BUSTAMANTE-ÁLVAREZ, M. (eds.) – *Arqueología romana en la Península Ibérica*. Granada: 555-578.
- AYARZAGÜENA SANZ, M. – LOZANO OTERO, G. (2019) – Sobre un antiguo lavadero de cobre encontrado en el Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia). En LÓPEZ CIDAD, J. F. – AYARZAGÜENA SANZ, M. (eds.) – *La minería y la metalurgia en el centro de la Península Ibérica a través de la Historia*. Madrid: 151-158.
- AYARZAGÜENA SANZ, M. – LOZANO OTERO, G. (2021) – Los hornos de cobre del Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia) en la Tardoantigüedad. En MARTÍNEZ CABALLERO, S. – SANTOS YANGUAS, J. – CABAÑERO MARÍN, V. M. – MUNICIO GONZÁLEZ, L. J. (coords.) – *Segovia Romana. Investigaciones recientes del mundo romano en Segovia. Actas de la Reunión de Arqueología Clásica en Segovia. Segovia, 17 y 18 de octubre de 2019*. Segovia: 327-341.
- AYARZAGÜENA SANZ, M. – LOZANO, G. – VALIENTE CÁNOVAS, S. – LÓPEZ CIDAD J. F. (2017a) – Hornos de reducción de cobre en el Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia) de época tardorromana. En PUCHE, O. – AYARZAGÜENA SANZ, M. – LÓPEZ CIDAD, J. F. – POUS, J. (eds.) – *Minería y metalurgia históricas en el sudeste europeo. Nuestras raíces mineras*. Madrid: 213-224.
- AYARZAGÜENA SANZ, M. – RAMOS, F. – LÓPEZ CIDAD, J. F. – SALAS ÁLVAREZ, J. – SAN CLEMENTE GEIJO, P. – SEBASTIÁN REQUES, E. – VALIENTE CÁNOVAS, S. (2012) – Análisis de las estructuras del Cerro de los Almadenes en Otero de Herreros (Segovia) a partir de la prospección geofísica realizada en 2011 y los datos obtenidos por las prospecciones arqueológicas. En MATA-PERELLÓ, J. – PALACIOS UBACH, S. (eds.) – *La Minería sostenible: patrimonio de hoy y del mañana*. Madrid: 153-162.
- AYARZAGÜENA SANZ, M. – SAN CLEMENTE GEIJO, P. (2022) – El centro minero-metalúrgico del Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia). Un nuevo BIC. En VV.AA. – *Actualidad de la investigación arqueológica en España IV (2021-2022)*. Madrid: 27-46.

- AYARZAGÜENA SANZ, M. – VALIENTE CÁNOVAS, S. – LOZANO OTERO, G. – DEL VALLE, M. (2017b) – Batería de hornos tardorromanos para la metalurgia del cobre en el Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia). *Zona Arqueológica*, 20(2): 147-156.
- BARRIOS RODRÍGUEZ, D. – MONCÓ GARCÍA, C. (2021) – Un ponderal de plomo encontrado en el yacimiento del Cerro de los Almadenes. En AYARZAGÜENA SANZ, M. – LÓPEZ CIDAD, J. F. (eds.) – *El patrimonio geológico y minero como instrumento de desarrollo territorial*. Madrid: 17-28.
- BELLÓN AGUILERA, J. (2008) – La mina y fundición romana de Los Puertos de Santa Bárbara (Cartagena). *Arqueología y Territorio*, 5: 113-126.
- BELLÓN AGUILERA, J. (2017) – Hornos metalúrgicos romanos de los Puertos de Santa Bárbara (Cartagena, España). En PUCHE RIART, O. – AYARZAGÜENA SANZ, M. – LÓPEZ CIDAD, J. F. – POUS DE LA FLOR, J. (Eds.) – *Minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo. Nuestras raíces mineras*. Madrid: 123-132.
- C.A.I. Unidad de Arqueometría (2019) – *Prospección geofísica con georradar en el Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia)*. Madrid.
- CASTEL, G. – TALLET, P. (2011) – Rapport Archéologique. En ABD EL-RAZIQ, M. – CASTEL, G. – TALLET, P. (eds.) – *Ayn Soukhna II. Les ateliers métallurgiques du Moyen Empire*. El Cairo: 5-146.
- CORTÁZAR, D. de (1891) – *Descripción física y geológica de la provincia de Segovia*. Madrid.
- CHARDON-PICAULT, P. – PERNOT, M. (1999) – *Un quartier antique d'artisanat métallurgique à Autun. Le site du Lycée Militaire*. Paris.
- DOMERGUE, C. (1979) – Le gisement de cuivre d'Otero de los Herreros (Segovie) et son exploitation à l'époque romaine. *Revista de la Universidad Complutense*, 18:116-152.
- DOMERGUE, C. (1990) – *Les mines de la Peninsule Ibérique dans l'antiquité romaine*. Roma.
- EUBA REMENTERIA, I. (2010) – *Análisis antracológico de las muestras de época romana (siglo I y II d.C.) de Otero de Herreros, Cerro de los Almadenes (Segovia)*. Tarragona.
- FABRE, J.-M. – POLO CUTANDO, C. – RICO, Ch. – VILLAGORDO ROS, C. – COUSTURES M.-P. (2012) – Minería y siderurgia antigua en Sierra Menera (Teruel-Guadalajara) Nuevos avances de la explotación del hierro en época antigua (siglos II a. C. - II d. C.). En OREJAS, A. – RICO, Ch. (eds.) – *Minería y metalurgia antiguas*. Madrid: 43-62. [versión en línea: <https://doi.org/10.4000/books.cvz.17219>]
- FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, M. – GARCÍA BUENO, C. (1993) – La minería romana de época republicana en Sierra Morena: el poblado de Valderrepisa (Fuencaliente, Ciudad Real). *Mélanges de la Casa de Velázquez*, 29(1): 25-50.
- FLUZIN, Ph. (2011) – Études archéométriques. En ABD EL-RAZIQ, M. – CASTEL, G. – TALLET, P. (eds.) – *Ayn Soukhna II. Les ateliers métallurgiques du Moyen Empire*. El Cairo: 147-207.
- GARCÍA ROMERO, J. (2002) – *el papel de la minería y la metalurgia en la Córdoba romana*. Córdoba.
- GARCÍA ROMERO, J. (2003) – Hornos de fundición y fusión empleados en la metalurgia romana en la provincia de Córdoba. *Habis*, 34: 201-212
- HUNT ORTIZ, M. A. (1987-1988) – Consideraciones sobre la metalurgia del cobre y del hierro y en época romana en la provincia de Huelva, con especial referencia a las minas del Río Tinto. *Habis*, 18: 601-612.
- INSPECCIÓN GENERAL DE MINERÍA (1906) – *Estadística Minera de España correspondiente al año 1905*. Madrid.
- LACASA, E. (1922) – Estudio de los criaderos de mineral de cobre de la zona de Otero de Herreros (Segovia). *Boletín Oficial de Minas y Metalurgia*, 63: 3-16.
- LABORATORIO DE DATACIÓN Y RADIOQUÍMICA DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID (2013) – *Datación de materiales cerámicos, mediante la técnica de termoluminiscencia, pertenecientes al yacimiento de "Otero de Herreros II" (Cerro de los Almadenes, Segovia)*. Madrid.
- LECEA GARCÍA, C. (1890) – *Mina titulada "La Española" en Otero de Herreros provincia de Segovia. Consideraciones acerca de lo que fue en lo antiguo y lo que puede ser en la actualidad*. Segovia.
- LÓPEZ CIDAD, J. F. – AYARZAGÜENA SANZ, M. – VALIENTE CÁNOVAS, S. – LOZANO, G. (2017) – El Cerro de los Almadenes en épocas medieval y moderna. En PUCHE, O. – AYARZAGÜENA SANZ, M. – LÓPEZ CIDAD, J. F. – POUS, J. (eds.) – *Minería y metalurgia históricas en el sudeste europeo. Nuestras raíces mineras*. Madrid: 189-202.
- LOZANO OTERO, G. – AYARZAGÜENA SANZ, M. (2018) – Fundición antigua y tardoantigua en el Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia). *De Re Metallica*, 31: 3-14.
- LOZANO OTERO, G. – AYARZAGÜENA SANZ, M. – LOPEZ CIDAD, F. – VALIENTE CÁNOVAS, S. – MONCÓ GARCÍA, C. (2019) – Aportaciones del hallazgo de una nueva batería de hornos al contexto general minero-metalúrgico del Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia). En MANSILLA PLAZA, L. – MATA PERELLÓ, J. M. (eds.) – *El patrimonio geológico y minero. Identidad y motor de desarrollo*. Madrid: 295-306.
- LOZANO OTERO, G. – LÓPEZ, F. – AYARZAGÜENA, M. (2021) – El patrimonio minero en la metodología de estudio del Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia). En AYARZAGÜENA SANZ, M. – LÓPEZ CIDAD, J. F. (eds.) – *El patrimonio geológico y minero como instrumento de desarrollo territorial*. Madrid: 83-88.
- LOZANO OTERO, G. – PUCHE RIART, O. (2011) – El patrimonio minero de Otero de Herreros (Segovia). *De Re Metallica*, 16: 43-52.
- LUZÓN NOGUE, J. M. – RUIZ MATA, D. (1970) – El poblado minero romano de Riotinto. *Habis*, 1: 125-138.
- MONTERO, I. – GARCÍA-VUELTA, O. (2014) – *Estudio SEM-EDX de escorias del yacimiento Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia)*. Madrid.
- MORATO MARQUÉS, C. – ÁLVAREZ GARCÍA, J. (2023) – Propuesta de Análisis LIDAR en el entorno del Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia) y su posible vinculación prehistórica. *De Re Metallica*, 40: 60.
- PEREIRA, P. A. – GALHANO, C. (2019) – A atividade metalúrgica e a Olaria de Sines Romana. Dados preliminares. *Al-Madan*, 22(3): 20-37.
- PÉREZ MACÍAS, J. A. (1986) – Generalidades para la clasificación de escorias en las prospecciones y excavaciones arqueológicas. *Habis*, 17: 566-573.
- PÉREZ MACÍAS, J. A. – GONZÁLEZ BATANERO, D. – GARCÍA GONZÁLEZ, A. – ECHEVARRÍA SÁNCHEZ, A. (2013) – La *Fodina* de Aguas Teñidas (Almonaster la Real, Huelva). *Onoba*, 1: 219-242.
- PÉREZ MACÍAS, J. A. – IGLESIAS GARCÍA, L. – DELGADO DOMÍNGUEZ, A. (2022) – Urium. El poblamiento romano en las minas de Riotinto. En PÉREZ MACÍAS, J. A. – IGLESIAS GARCÍA, L. (eds.) – *Vicus metallum uriensis. Un acercamiento a las minas de Riotinto en época romana*. Huelva: 11-88.

- PÉREZ, J. A. – DELGADO, A. – REGALADO ORTEGA, M. C. (2012) – El asentamiento romano en el paraje de Marismilla (Riotinto-Nerva, Huelva). En PÉREZ MACÍAS, J. A. – CARRIAZO RUBIO, J. L. – GAVILÁN CEBALLOS, B. (eds.) – *Paisajes, tiempos y memoria*. Huelva: 45-82.
- PÉREZ, J. A. – MARTINS, A. – BUSTAMANTE, M. – Lagares, J. (2012) – *In Abditas Terrasiglo Investigações Arqueológicas em Aljustrel*. Huelva.
- RAPP, G. (2009) – *Archaeomineralogy*. Berlin.
- RIVERO, M. – OSETE, M. L. – AYARZAGÜENA, M. – MOLINA-CARDIN, A. (2016) – Estudio arqueomagnético del yacimiento del Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia). *Geotemas*, 16(1): 941-944.
- SALAS ÁLVAREZ, J. – AYARZAGÜENA SANZ, M. – LÓPEZ CIDAD, J. F. – RAMOS SÁNCHEZ, F. – SAN CLEMENTE GEIJO, P. – SEBASTIÁN REQUES, E. – VALIENTE CÁNOVAS, S. – DEL VALLE, M. (2014) – El poblado minerometalúrgico de El Cerro de Los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia). *Onoba*, 2: 149-178.
- SALAS ÁLVAREZ, J. – SAN CLEMENTE GEIJO, P. – SEBASTIÁN REQUES, E. (2012) – Arqueología del paisaje minero del Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia): Evolución y Transformación. En VV.AA. – *VII Congreso Internacional sobre Minería y Metalurgia Históricas en el Sudeste Europeo, Utrillas (Teruel)*. Madrid: 107-120.
- SALAS ÁLVAREZ, J. – SAN CLEMENTE GEIJO, P. – SEBASTIÁN REQUES, E. (2017) – El Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia): poblamiento rural y paisaje minero en época romana. *Zona Arqueológica*, 20(1): 351-360.
- SAN CLEMENTE GEIJO, P. – AYARZAGÜENA SANZ, M. (2019) – El Cerro de los Almadenes: *Metalla* romana en la provincia de Segovia. En AYARZAGÜENA SANZ, M. – LÓPEZ CIDAD, J. F. – POUSS DE LA FLOR, J. (eds.) – *Minería y metalurgia históricas en el sudeste europeo. La minería y metalurgia del centro de la Península Ibérica a través de la historia*. Madrid: 133-150.
- SAN CLEMENTE GEIJO, P. – SALAS ÁLVAREZ, J. (2017) – El yacimiento del Cerro de los Almadenes (Otero de Herreros, Segovia): consideraciones cronológicas a raíz de nuevas analíticas y materiales recuperados. En PUCHE, O. – AYARZAGÜENA SANZ, M. – LÓPEZ CIDAD, J. F. – POUSS, J. (eds.) – *Minería y metalurgia históricas en el sudeste europeo. Nuestras raíces mineras*. Madrid: 151-160.
- SCHATTNER, T. G. – OVEJERO ZAPPINO, G. – PÉREZ MACÍAS, J. A. (2012) – Minería y metalurgia antiguas en Munigua. Estado de la cuestión. En OREJAS, A. – RICO, Ch. (eds.) – *Minería y metalurgia antiguas*. Madrid: 151-168. [versión en línea: <https://doi.org/10.4000/books.cvz.17219>.]
- VALIENTE CÁNOVAS, S. – AYARZAGÜENA SANZ, M. – SAN CLEMENTE GEIJO, P. – LOZANO OTERO, G. – LÓPEZ CIDAD, J. F. (2021) – *El Cerro de los Almadenes. Una espectacular explotación de cobre en Otero de Herreros*. Segovia.
- VERLY, G. – RADEMAKERS, F. W. – SOMAGLINO, C. – TALLET, P. – DELVAUX, L. – DEGRYSE, P. (2021) – The *Chaîne Opératoire* of Middle Kingdom smelting batteries and the problem of fuel: Excavation, experimental and analytical studies on ancient Egyptian metallurgy. *Journal of Archaeological Science*, 37: 1-14.
- VILLAGORDO ROS, C. – POLO CUTANDO, C. – FABRE, J.-M. – COUSTURES M.-P. – RICO, Ch. (2014) – Innovación sin desarrollo: el taller metalúrgico de la Juncada (Peracense, Teruel). Evidencias de la producción de hierro en los siglos IV-III a.C. en el ámbito celtibérico del área minera de Sierra Menera. *Kobie. Serie paleoantropología*, 13: 75-92.

POLÍTICA EDITORIAL

Objectivos

A Ophiussa – Revista do Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa foi iniciada sob a direcção de Victor S. Gonçalves em 1996, tendo sido editado o volume 0. A partir do volume 1 (2017), a Revista Ophiussa converteu-se numa edição impressa e digital da UNIARQ – Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa (ISSN 1645-653X / E-ISSN 2184-173X). Em 2025, a revista deixou de ser publicada em formato impresso, passando a disponibilizar-se exclusivamente em versão digital, em acesso aberto, em <https://ophiussa.letras.ulisboa.pt>

O principal objectivo desta revista é a publicação e divulgação de trabalhos com manifesto interesse, qualidade e rigor científico sobre temas de Pré-História e Arqueologia, sobretudo do território europeu e da bacia do Mediterrâneo.

Periodicidade

A Ophiussa – Revista do Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa publicará um volume anual. O período de submissão de trabalhos decorrerá sempre no primeiro semestre e a edição ocorrerá no último trimestre de cada ano.

Secções da revista

A revista divide-se em duas secções: artigos científicos e resenhas bibliográficas. Excepcionalmente poderão ser aceites textos de carácter introdutório, no âmbito de homenagens ou divulgações específicas, que não serão submetidos à avaliação por pares. Isentas desta avaliação estão também as resenhas bibliográficas.

Os autores / editores que pretendam apresentar uma obra para resenha devem enviar dois exemplares para a direcção da Revista Ophiussa: um para o autor/autora da resenha que será convidado para o efeito e outro para a Biblioteca da Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa. Aceita-se igualmente a apresentação de propostas de resenhas espontâneas.

Aceitam-se trabalhos redigidos em português, inglês, espanhol, italiano e francês.

Processo de avaliação por pares

Os artigos submetidos são sujeitos a um processo de avaliação por parte de revisores externos (double blind peer review).

Todas as submissões (artigos e resenhas) serão avaliadas, em primeira instância, pela Coordenação Editorial, no que respeita ao seu conteúdo formal e à sua adequação face à política editorial e às normas de edição da revista. Os artigos que cumprirem estes requisitos serão posteriormente submetidos a um processo de avaliação por pares cega / double blind peer review (mínimo de dois revisores). O Conselho Científico, constituído pela direcção da UNIARQ e por investigadores externos, acompanhará o processo de edição.

Esta etapa será concretizada por investigadores externos qualificados, sendo os respectivos pareceres entregues num período não superior a três meses. Os revisores procederão à avaliação de forma objectiva, tendo em vista a qualidade do conteúdo da revista; as suas críticas, sugestões e comentários serão, na medida do possível, construtivos, respeitando as capacidades intelectuais do(s) autor(es). Após a recepção

dos pareceres, o(s) autor(es) tem um prazo máximo de um mês para proceder às alterações oportunas e reenviar o trabalho.

A aceitação ou recusa de artigos terá como únicos factores de ponderação a sua originalidade e qualidade científica.

O processo de revisão é confidencial, estando assegurado o anonimato dos avaliadores e dos autores dos trabalhos, neste último caso até à data da sua publicação.

Os trabalhos só serão aceites para publicação a partir do momento em que se conclua o processo da revisão por pares. Os textos que não forem aceites serão devolvidos aos seus autores.

A lista dos avaliadores será publicada em ciclos de 3 anos, indicada no final da Revista Ophiussa (versão impressa e digital).

Ética na publicação

A Revista Ophiussa segue as orientações estabelecidas pelo Committee on Publication Ethics (COPE, Comité de Ética em Publicações): <https://publicationethics.org/>

Apenas serão publicados artigos originais. Para efeito de detecção de plágio ou duplicidade será utilizada a plataforma URKUNDU (<https://www.orkund.com/pt-br/>). Serão rejeitadas práticas como a deformação ou invenção de dados. Os autores têm a responsabilidade de garantir que os trabalhos são originais e inéditos, fruto do consenso de todos os autores e cumprem com a legalidade vigente, dispondo de todas autorizações necessárias. Os artigos que não cumpram com estas normas éticas serão rejeitados.

As colaborações submetidas para publicação devem ser inéditas. As propostas de artigo não podem incluir qualquer problema de falsificação ou de plágio. As ilustrações que não sejam do(s) autor(es) devem indicar a sua procedência. O Conselho Científico e a Coordenação Editorial assumem que os autores solicitaram e receberam autorização para a reprodução dessas ilustrações, e, como tal, rejeitam a responsabilidade do uso não autorizado das ilustrações e das consequências legais por infracção de direitos de propriedade intelectual.

É assumido que todos os Autores fizeram uma contribuição relevante para a pesquisa reportada e concordam com o manuscrito submetido. Os Autores devem declarar de forma clara eventuais conflitos de interesse. As colaborações submetidas que, direta ou indiretamente, tiveram o apoio económico de terceiros, devem claramente declarar essas fontes de financiamento.

Os textos propostos para publicação devem ser inéditos e não deverão ter sido submetidos a qualquer outra revista ou edição electrónica.

O conteúdo dos trabalhos é da inteira responsabilidade do(s) autor(es) e não expressa a posição ou opinião do Conselho Científico ou da Coordenação Editorial.

O processo editorial decorrerá de forma objectiva, imparcial e anónima. Erros ou problemas detetados após a publicação serão investigados e, se comprovados, haverá lugar à publicação de correções, retratações e/ou respostas.

Serão considerados os seguintes princípios éticos:

1) RESPONSABILIDADE

A Revista Ophiussa através dos editores e autores tem a responsabilidade absoluta de aprovação, condenando todas as más práticas da publicação científica.

2) FRAUDE CIENTÍFICA:

A Revista Ophiussa procurará detectar manipulação e falsificação de dados, plágio ou duplicidade, com os mecanismos de detecção adequados.

3) POLÍTICA EDITORIAL E PROCEDIMENTOS

a) Os autores devem ter participado no processo de investigação e do processo de revisão, devendo garantir que os dados incluídos são reais e autênticos e estando obrigados a emitir retracções e correcções de erros de artigos publicados;

b) Os revisores devem efectuar uma revisão objectiva e confidencial e não ter conflitos de interesse (investigação, autores ou financiadores), devendo indicar obras publicadas relevantes que não foram citadas;

c) Na detecção de fraude ou má prática em fase de avaliação deve ser indicada pelos revisores e na fase de pós publicação por qualquer leitor.

d) Em caso de detecção de más práticas em fase de avaliação ou de detecção de artigos publicados previamente, o Conselho Editorial remeterá a ocorrência ao autor estabelecendo um prazo de 7 dias para esclarecimento, sendo posteriormente avaliada pelo Conselho de Redacção. Em fase de pós publicação, o Conselho Editorial poderá arquivar ou determinar a retratação num número seguinte, indicando-se os trâmites prévios.

Política de preservação de arquivos digitais

A revista garante a acessibilidade permanente dos objectos digitais através de cópias de segurança, utilização de DOI, integrando a rede Public Knowledge Project's Private LOCKSS Network (PKP-PLN), que gera um sistema de arquivo descentralizado.

Relativamente ao auto-arquivo, a revista integra também o Sherpa/Romeu

(<https://v2.sherpa.ac.uk/id/publication/41841>).

Política de acesso aberto

Esta edição disponibiliza de imediato e gratuitamente a totalidade dos seus conteúdos, em acesso aberto, de forma a promover, globalmente, a circulação e intercâmbio dos resultados da investigação científica e do conhecimento. A edição segue as directrizes Creative Commons (licença CC/BY/NC/ND 4.0).

A publicação de textos na Ophiussa – Revista do Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa não implica o pagamento de qualquer taxa nem dá direito a qualquer remuneração económica.

Para mais informações contactar:

ophiussa@letras.ulisboa.pt

EDITORIAL POLICY

Objectives

Ophiussa – Revista do Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa started under the direction of Victor S. Gonçalves in 1996, with the edition of volume 0. After Volume 1 (2017) it became a printed and digital edition of UNIARQ – Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa (ISSN 1645-653X / E-ISSN 2184-173X). In 2025, the journal ceased to be published in print format and became available exclusively in digital, open-access form at <https://ophiussa.letras.ulisboa.pt>

The main objective of this journal is the publication and dissemination of papers of interest, quality and scientific rigor concerning Prehistory and Archeology, mostly from Europe and the Mediterranean basin.

Periodicity

Ophiussa – Revista do Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa will publish an annual volume. The submission period will always occur in the first quarter of each year and the edition will occur in the last quarter.

Journal sections

The journal is divided into two sections: scientific articles and bibliographic reviews. Exceptionally, texts of an introductory nature may be accepted, in the context of specific tributes or divulgations, which will not be submitted to peer-review evaluation. Exemptions from this evaluation are also the bibliographic reviews.

Authors / editors wishing to submit a book for review should send two copies to the direction of Revista Ophiussa: one to the author of the review who will be invited for the purpose and another to the Library of the School of Arts and Humanities of the University of Lisbon. Spontaneous proposals are also accepted.

Papers written in Portuguese, English, Spanish, Italian and French are accepted.

Peer review process

Submitted articles are subject to a double blind peer-review evaluation process.

All submissions (articles and reviews) will be considered, in the first instance, by the Editorial Board, regarding its formal content and adequacy in face of the editorial policy and the journal editing standards. Articles that meet these requirements will subsequently be submitted to a blind peer-review process (minimum of two reviewers). The Scientific Council, constituted by UNIARQ direction and external researchers, will follow the editing process.

This stage will be carried out by qualified researchers, and their feedback will be delivered within a period of no more than two months. The reviewers will carry out the evaluation in an objective manner, in view of the quality and content of the journal; their criticisms, suggestions and comments will be, as far as possible, constructive, respecting the intellectual abilities of the author(s). After receiving the feedback, the author(s) has a maximum period of one month to make the necessary changes and resubmit the work.

Acceptance or refusal of articles will have as sole factors of consideration their originality and scientific quality.

The review process is confidential, with the anonymity of the evaluators and authors of the works being ensured, in the latter case, up to the date of its publication.

Papers will only be accepted for publication as soon as the peer review process is completed. Texts that are not accepted will be returned to their authors.

The list of reviewers will be published in 3-year cycles, indicated at the end of *Ophiussa* (printed and digital version).

Publication ethics

The Journal *Ophiussa* follows the guidelines established by the Committee on Publication Ethics (COPE, the Ethics Committee Publications): <https://publicationethics.org/>

Only original papers will be published. For the purpose of detecting plagiarism or duplicity, the URKUNDU platform (<https://www.orkund.com/pt-br/>) will be used. Practices such as the deformation or invention of data will be rejected. Authors are responsible for ensuring that the works are original and unpublished, the result of the consensus of all authors, and comply with current legality, having all necessary authorizations. Articles that do not comply with these ethical standards will be rejected.

Contributions submitted for publication must be unpublished. Article submissions can not include any problem of forgery or plagiarism. Illustrations that are not from the author(s) must indicate their origin. The Scientific Council and Editorial Board assume that the authors have requested and received permission to reproduce these illustrations and, as such, reject the responsibility for the unauthorized use of the illustrations and legal consequences for infringement of intellectual property rights.

It is assumed that all Authors have made a relevant contribution to the reported research and agree with the manuscript submitted. Authors must clearly state any conflicts of interest. Collaborations submitted that directly or indirectly had the financial support of third parties must clearly state these sources of funding.

Texts proposed for publication must be unpublished and should not have been submitted to any other journal or electronic edition.

The content of the works is entirely the responsibility of the author(s) and does not express the position or opinion of the Scientific Council or Editorial Board.

The editorial process will be conducted objectively, impartially and anonymously. Errors or problems detected after publication will be investigated and, if proven, corrections, retractions and / or responses will be published.

The following ethical principles will be considered:

1) RESPONSIBILITY:

Ophiussa through its editors and authors has the absolute responsibility for approval, condemning all bad practices of scientific publication.

2) SCIENTIFIC FRAUD

Ophiussa will seek to detect manipulation and falsification of data, plagiarism or duplicity, with the appropriate detection mechanisms.

3) Editorial policy and procedures:

a) Authors must have participated in the research process and in the review process, and must ensure that the data included is real and authentic and are obliged to issue retractions and corrections of errors of published articles;

b) Reviewers must carry out an objective and confidential review and have no conflicts of interest (research, authors or funders), and must indicate relevant published works that were not cited;

c) In the detection of fraud or malpractice in the evaluation phase, it must be indicated by the reviewers and in the post-publication phase by any reader.

d) In case of detection of bad practices in the evaluation phase or of detection of previously published articles, the Editorial Board will send the occurrence to the author, establishing a period of 7 days for clarification, which will be subsequently evaluated by the Editorial Board. In the post-publication phase, the Editorial Board may file or determine the retraction in a subsequent issue, indicating the previous procedures.

Digital file preservation policy

The journal guarantees the permanent accessibility of digital objects through backup copies and use of DOI, integrating the Public Knowledge Project's Private LOCKSS Network (PKP-PLN), which generates a decentralized file system.

Regarding the self-archiving, the magazine also includes Sherpa/Romeu

(<https://v2.sherpa.ac.uk/id/publication/41841>).

Open access policy

This edition immediately and freely provides all of its content, in open access, in order to promote global circulation and exchange of scientific research and knowledge. It follows Creative Commons guidelines (license CC/BY/NC/ND 4.0).

The publication of texts in *Ophiussa* – Revista do Centro de Arqueologia da Universidade de Lisboa does not imply the payment of any fee nor does it entitle to any economic remuneration.

For more information contact:

ophiussa@letras.ulisboa.pt

ÍNDICE

Origins of raw milk consumption in the Iberian Peninsula and Portuguese territory: archaeogenetics and zooarchaeology GONÇALO GARCEZ FERNANDES, MARIA JOÃO VALENTE, HUGO RAFAEL OLIVEIRA, MARIA JOÃO FERNANDES MARTINS	5
A estátua-menir 3 da Serra da Nave (Moimenta da Beira, Viseu) ANDRÉ TOMÁS SANTOS, SÍLVIA LOUREIRO MENDES, DIOGO OLIVEIRA, DOMINGOS J. CRUZ	25
La estela de Villafranca de los Barros y su contexto en la arqueología de Tierra de Barros PABLO PANIEGO DÍAZ, LUIS-GETHSEMANÍ PÉREZ-AGUILAR, MARIO PIÑERO FERNÁNDEZ	43
Mértola en la Edad del Hierro: investigaciones arqueológicas entre Estácio da Veiga y la actualidad (1877-2024) PEDRO ALBUQUERQUE, FRANCISCO JOSÉ GARCÍA FERNÁNDEZ, JOÃO FONTE	67
O sítio arqueológico de Alto do Castelo (Alpiarça). Revisão arqueológica e novas leituras não intrusivas JOÃO PIMENTA, TIAGO DO PEREIRO, JOÃO FONTE	89
El proceso de extracción de cobre en el Cerro de los Almadenes. Nuevas hipótesis y replanteamientos a través de un estudio comparativo JUAN ÁLVAREZ GARCÍA, GONZALO LOZANO OTERO, MARIANO AYARZAGÜENA SANZ	121
A cidade romana de <i>Ossonoba</i> nos inícios da nossa Era: novos dados a partir da intervenção na rua Ivens, n.º 16 FRANCISCO ROSA CORREIA, ANA MARTIN, JOÃO PEDRO BERNARDES	145
Regressar ao túmulo: a primeira campanha do Projecto de Documentação da Mastaba de Akhmerutnisut (G 2184, Guiza, Egipto) INÉS TORRES, LUIZA OSORIO G. SILVA, GUILHERME BORGES PIRES, MAARTEN PRAET, MOHAMED YOUSSEF SEDEK, MOHAMED KHALIFA, YASSER KAMAL HEFNI	165
The Writing of Archaeological Theory ARTUR RIBEIRO	187
<i>Res Naturae</i> . Archaeology in a posthuman Anthropocene and the archaeology of nature: a preliminary attempt MARA BEATRIZ AGOSTO	201
Recensões bibliográficas (TEXTOS: JOÃO PIMENTA, ANTÓNIO CARVALHO, YUNA LE QUÉRÉ, AMÍLCAR GUERRA CARMEN RAMÍREZ CAÑAS, CRISTINA GAMEIRO)	221
Política editorial	239
Editorial policy	240