



HAL
open science

Los herreros de Albalat (s. XII): aproximación a las actividades metalúrgicas a la luz de los testimonios arqueológicos

Sophie Gilotte, Pauline de Keukelaere, Mónica Ruiz Alonso, Salvador Rovira Llorens

► To cite this version:

Sophie Gilotte, Pauline de Keukelaere, Mónica Ruiz Alonso, Salvador Rovira Llorens. Los herreros de Albalat (s. XII): aproximación a las actividades metalúrgicas a la luz de los testimonios arqueológicos. Grupo CIGA. Terra, Pedras, Cacos do Garb al-Andalus, 57, Património Cultural I. P; Instituto Português do Património Cultural, pp.123-137, 2024, Trabalhos de Arqueologia. halshs-03502362

HAL Id: halshs-03502362

<https://shs.hal.science/halshs-03502362v1>

Submitted on 1 Feb 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License



#06

Los herreros de *Albalat* (s. XII): aproximación a las actividades metalúrgicas a la luz de los testimonios arqueológicos¹

Sophie Gilotte | CNRS | sophie.gilotte@cnrs.fr

Pauline De Keukelaere | UMR 8167 | pauline.dekeukelaere@gmail.com

Mónica Ruiz Alonso | GI.ArqMed, IH, CCHS, CSIC | moruizalonso@hotmail.com

Salvador Rovira Llorens | Investigador jubilado | s_rovirallorens@hotmail.com

Resumo: As atividades metalúrgicas, e especialmente as dedicadas à indústria siderúrgica, parecem ter ocupado um lugar de destaque no povoado fortificado de Albalat (provincia de Cáceres) a fim de satisfazer a procura local. Estas atividades estão associadas ao último período de ocupação (século XII), embora algumas indicações sugiram que já estavam presentes em fases anteriores. Esta apresentação centra-se nos dados disponíveis para uma destas oficinas, aprofundando a interpretação funcional das estruturas descobertas e tentando avaliar o potencial informativo dos dados disponíveis, desde a seleção dos combustíveis até à aproximação dos processos técnicos e da natureza do trabalho realizado através dos resíduos metalúrgicos.

Palavras-chave: Forja; paleometalurgia; metalografia; combustível; Almorávida.

Abstract: The metallurgical activities, and especially those dedicated to the steel industry, seem to have occupied a prominent place in the fortified settlement of Albalat (province of Cáceres) to satisfy the local demand. These activities are associated with the last period of occupation (12th century) although some indications suggest that they were already present in the previous phases. This presentation focuses on the data available for one of these workshops, going deeper into the functional interpretation of the structures discovered and trying to evaluate the informative potential of the available data, from the selection of the fuels to the approximation of the technical processes and the nature of the work carried out through the metallurgical waste.

Keywords: Smithy workshop; palaeometallurgy; metallography; charcoal fuel; Almoravid.

¹ El proyecto Albalat cuenta desde su inicio con el apoyo de varias instituciones públicas y privadas: Excmo. Ayuntamiento de Romangordo (desde 2009), CCHS-CSIC (2009-2010), Casa de Velázquez (2009 y desde 2014), CNRS-UMR8167 (2010), Central Nuclear de Almaraz (desde 2010), Asociación Madinat Albalat (desde 2011), CNRS-Ciham UMR 5648 (desde 2011), Parque Nacional de Monfragüe (2011-2013), Fundación Max van Berchem (2013-2016), Diputación de Cáceres (2015-2018), Ministerio de Europa y de Asuntos Exteriores de Francia (2018-2021), MSH Lyon St-Étienne (2019-2021), Programa Artémis (2020).

1. La producción del hierro en al-Andalus: una cuestión pendiente de profundizar

Empezar por recordar la importancia que tuvo el hierro en la economía y la vida cotidiana de las sociedades medievales resultaría superfluo si no fuese porque detrás de esta evidencia se esconden importantes lagunas en el conocimiento, especialmente agudas en el mundo de la arqueología andalusí² (Grangé y Vilhena, 2009). Un rápido balance historiográfico muestra que se sabe algo más de las primeras etapas del procesado de los minerales, que incluyen su extracción y reducción directa en hornos bajos³ a veces realizada a pie de mina (*Jornadas sobre Minería y Tecnología en la Edad Media Peninsular*, 1996; Cressier, 1998; Pérez, 1999; Menasanch, 2001; Puche y Ayarzagüena, 2005; Canto y Cressier, 2008; Pérez y Delgado, 2011; Pérez y Carriazo, 2010; Catarino, 2012; Echevarría, 2019), y no tanto acerca de su trabajo posterior antes de ser convertidos en artefactos. Esta escasez de datos deriva en gran parte de la incapacidad para detectar los talleres de post-reducción a través de prospecciones superficiales, método por el contrario bien adaptado para la localización de estériles de minas así como de escoriales generados por la transformación de los minerales, si bien no siempre es posible prescindir de una aproximación estratigráfica para fechar estas acumulaciones⁴ (Pérez, 2002, p. 422). Las valiosas aportaciones de J. Vilhena y M. Grangé al conocimiento de la siderurgia medieval en el distrito rural de Odemira ilustran plenamente los límites y posibles sesgos de este método, tal y como lo enuncian los propios autores (2011, p. 103). A los posibles problemas de identificación de unos restos muy específicos, se suman a veces las incertidumbres en cuanto a la pertinencia de su estudio más profundo (Bazzana y Trauth, 2008, p. 239).

Aunque no resulta de una recopilación exhaustiva, un esbozo de mapa da cuenta de los pocos sitios publicados o conocidos relacionados con los trabajos de post-reducción que incluyen las etapas de depuración, forja y reciclaje⁵ (Fig. 1). Se incluyen a veces indicios muy tenues, fuera de todo contexto de uso. Este es el caso, por ejemplo, de Madīnat Ilbīra para la cual solo se cuenta con un yunque — de datación algo incierta — (Gómez, 1888, n.º 189, lám. XV), o de menciones de hipotéticas tortas de fragua — no siempre interpretadas como tales — como, entre otros, en los yacimientos del Cerro de la Cruz, Córdoba (Quesada *et al.*, 2012, p. 21) o de Solibernat, Lérida (Rovira y Casanovas, 2006, p. 163). Otro obstáculo se debe a la concisión de muchas noticias, como sería la de la forja almohade instalada en el castillo de Alarcos, con una cronología muy corta, comprendida por defecto entre los años 1195 y 1212 (de Juan, 2013, p. 106 y fig. 120). En cambio, se ha de resaltar la originalidad de los trabajos realizados en la hoya de Guadix por M. Bertrand y J. Sánchez Viciano (2008, pp. 122-157; Bertrand, Sánchez y Garrido, 2002) que pusieron en evidencia una intensa actividad metalúrgica entre la Antigüedad Tardía y el periodo visigodo, con algunos talleres que parecen haber abarcado todas las operaciones de transformación mientras otros estaban más especializados en las tareas de fragua (Bertrand y Sánchez, 2008, pp. 134, 138 y fig. 5). El descenso detectado durante el emirato se debió a una reorganización del poblamiento rural que afectó al modo de explotación y a las redes de distribución. En la punta opuesta, la zona del suroeste español cuenta con las numerosas aportaciones de J. A. Pérez Macías que incluyen una vertiente arqueométrica para caracterizar las operaciones siderúrgicas así como una reflexión sobre la implantación de los centros de tratamiento respecto a las zonas mineras (Pérez, 2002). Destacan aparte las forjas de entorno portuario, interpretadas a la luz de las necesidades de las

² En contraste evidente con las etapas previas, para las cuales se cuenta con una abundante bibliografía que no podemos detallar aquí. Véase Costa, 2008, p. 402, graf. 3. Esta disparidad se acusa todavía más con algunos países vecinos donde está arraigada una fuerte tradición de estudios arqueometalúrgicos, que no deja de lado ningún periodo histórico.

³ Sobre el proceso de reducción directa, véanse entre otros Mangin, 2004, pp. 49-112; Serneels, 1993, pp. 43-57; Jiménez-Camino *et al.*, 2010, pp. 87-88.

⁴ Si bien el reciente desarrollo de un método de datación directa (¹⁴C) de las escorias abre nuevas perspectivas en este campo. Véanse Dillmann *et al.*, 2015, p. 29.

⁵ El mapa sería muy distinto si se incluyeran todos los datos relacionados con la explotación y reducción de minerales de hierro durante la etapa andalusí.

atarazanas y de la pujanza del comercio naval: sean de purificación y cariz casi “industrial” como en Ceuta, donde se descubrió un horno llamativamente grande de cámara cerrada, anterior a la segunda mitad del siglo XII (Pérez *et al.*, 2017), o sean varios vertederos de herrerías emirales y un taller califal-taifa en Algeciras donde se trabajaba un hierro de buena calidad (Jiménez-Camino *et al.*, 2010). Otros talleres de post-reducción, como los ubicados en la alcazaba de Mértola, en los castillos de Palmela y de Calatrava la Nueva y fechados entre los siglos XI y XII (De Keukelaere y Palma, 2018; Fernandes, 2006; Segovia *et al.*, 2014, p. 647) atestiguan la concentración de esta actividad en ámbitos urbanos o, al menos, en pequeños núcleos fortificados. Otros testimonios proceden de asentamientos de marcado carácter rural, entre los cuales se encuentran las alquerías de Las Sillas, Huesca y de Alcaría Longa, Baixo Alentejo (Sénac *et al.*, 2020, p. 50; Boone, 1993, pp. 115-116 y fig. 2.), respectivamente con una ocupación de los siglos X-XI y XI-XII y la de Guerreiros de Cima (Baixo Alentejo), especialmente en su fase ocupacional de los siglos XII-XIII (Grangé y Vilhena, 2009). En la mayoría de estos casos⁶, es probable que se trate de talleres secundarios que no controlaban toda la cadena operativa: tanto los productos de reducción; las matas férricas o esponjas, con escorias ocluidas y hierro metálico (Jiménez-Camino *et al.*, 2010, p. 88), como los de primera depuración (las lupias) eran susceptibles de circular para abastecer estos centros, participando de esta forma en una economía poco visible y valorada.

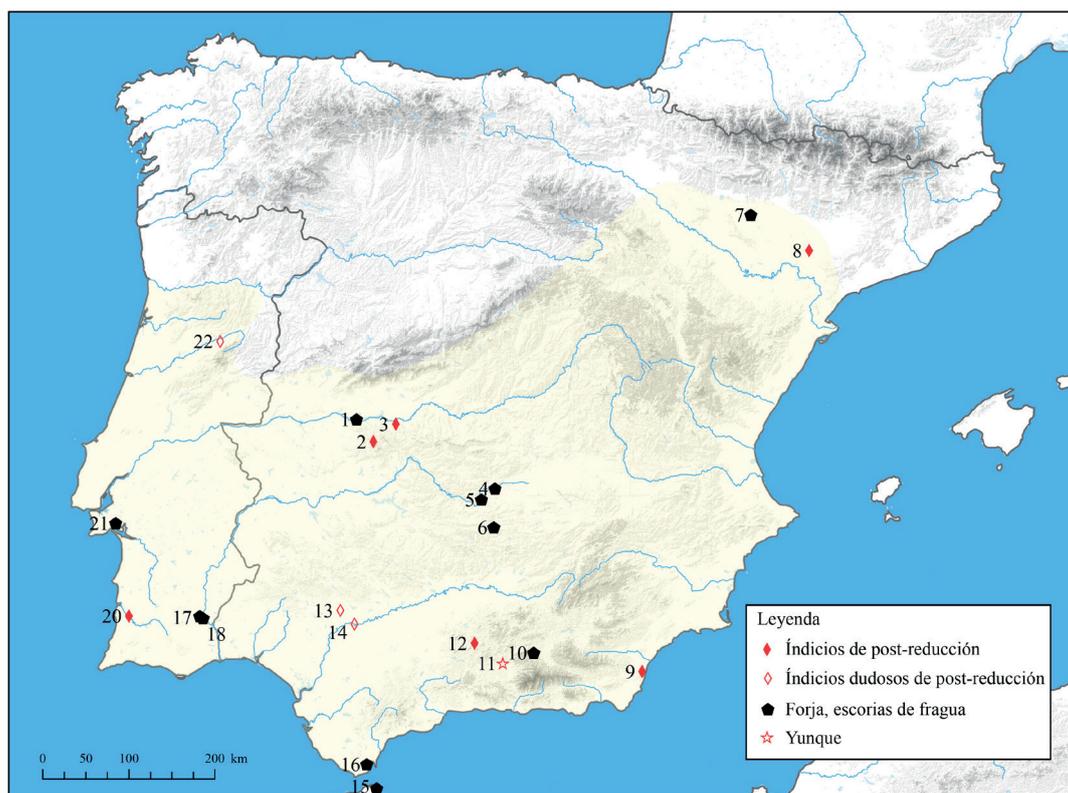


Fig. 1 – Carta de repartición de los principales indicios de trabajos de post-reducción de hierro en al-Andalus. 1: Albalat; 2: Las Arbellas; 3: Vascos; 4: Calatrava la Vieja; 5: Alarcos; 6: Calatrava la Nueva; 7: Las Sillas; 8: Solibernat; 9: Cortijo de Gatas; 10: Jolopos; 11: Medina Elvira (Madīnat Ilbīra); 12: Cerro de la Cruz; 13: Castillo de Montegil; 14: Castillo de Montorcáz; 15: Ceuta; 16: Algeciras; 17: Mértola; 18: Alcaría Longa; 19: Alcariais dos Guerreiros de Cima; 20: Cerro do castelo de vale de Gaios; 21: Palmela; 22: Penedos dos Moros.

Los aportes de varios grupos de investigación en paleometalurgia muestran que unas aproximaciones sistémicas permiten abordar el ciclo productivo del hierro con un enfoque distinto, introduciendo nociones de tecnología, cantidad y calidad para precisar, o comparar, la naturaleza de las actividades siderúrgicas.

⁶ Con clara excepción del yacimiento mencionado de Guerreiros de Cima.

Por tanto, nos ha parecido interesante empezar a aplicar estos métodos de trabajo a la microescala del asentamiento fronterizo de Albalat (Extremadura) donde las excavaciones sistemáticas llevadas a cabo desde hace ya varios años están poniendo a la luz una importante fase de ocupación de época almorávide (Gilotte y Cáceres, eds., 2017).

2. Las forjas de Albalat: un sector especializado dentro del entramado urbano

Se empezó a intuir la existencia de actividades metalúrgicas en Albalat a través de la dispersión de escorias en un radio de varios metros alrededor de lo que se identificó *a posteriori* como su punto de origen, situado en la zona norte de lo que es hoy en día una gran área abierta. Sin embargo, nada dejaba sospechar que procedían de la agrupación de tres talleres, bien insertados en el entramado urbano dentro de un perímetro concreto del área septentrional, y sin que sepamos si no se extiende más allá de los límites excavados (Fig. 2). Aunque sus estructuras estén muy arrasadas y a veces de lectura poco evidente, estos espacios artesanales presentan diferencias bien marcadas en cuanto a su superficie y organización interna.

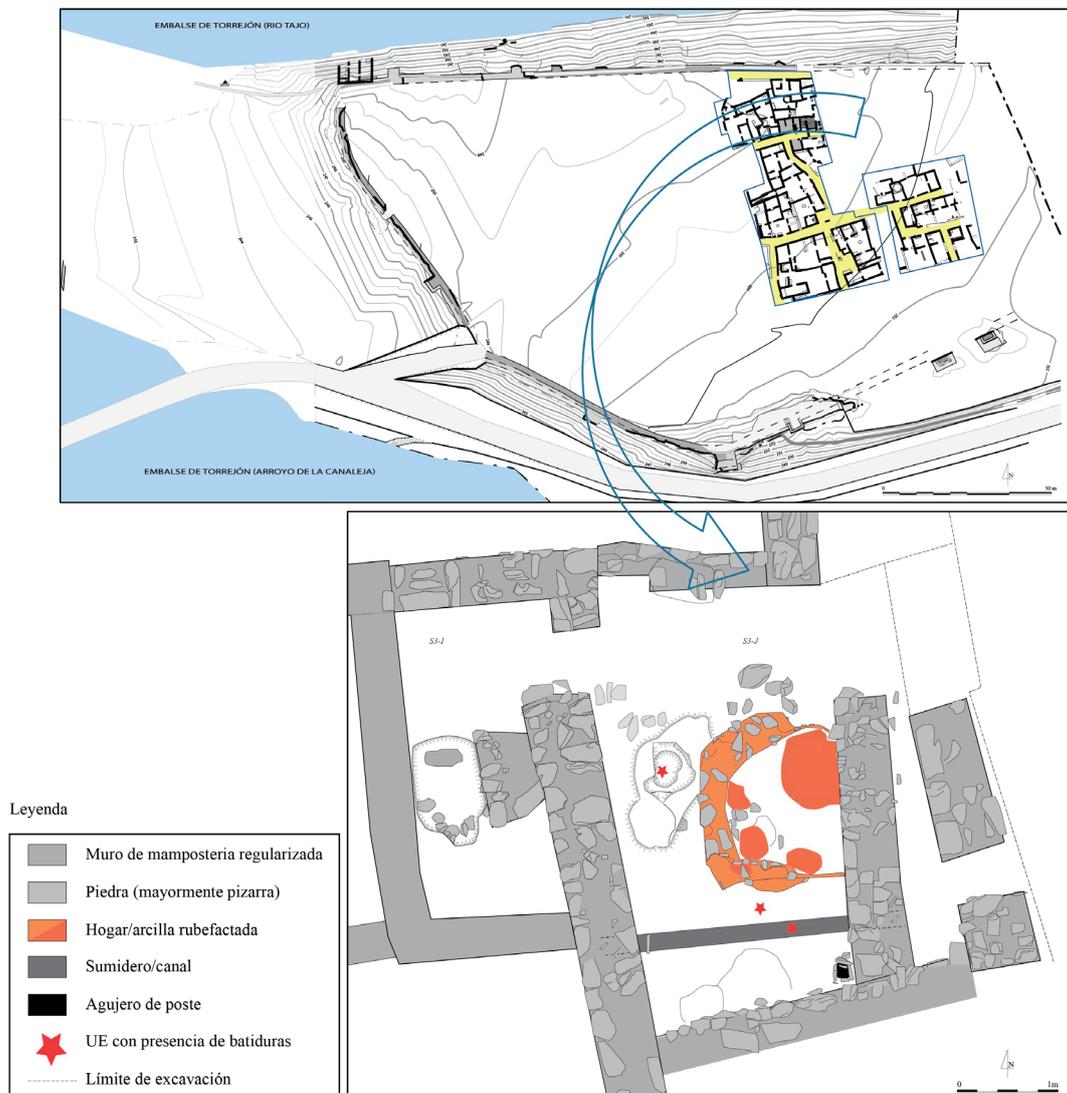


Fig. 2 – Planimetría de los vestigios en Albalat con localización de los talleres de fragua en gris (estado 2020). Abajo: detalle de la fragua 2 (S3-J) con localización de las principales estructuras

Asimismo, el más pequeño de ellos (de unos 8 m²) se presenta como una simple estancia rectangular abierta hacia la calle, mientras que los otros dos tienen unas plantas más complejas, compartimentadas en espacios paralelos de mayor o menor amplitud (superficies totales en torno a 17 y 20 m²). La puesta en marcha de un programa dedicado a la metalurgia en Albalat nos ha ofrecido la oportunidad de realizar el balance de algunos datos dispersos e interesarnos de forma sistemática por sus restos. Cabe decir que estamos lejos de poder proponer aquí un estudio finalizado, de modo que esta presentación se centrará en un solo taller (Fragua 2 o S3-J, fig. 2).

El taller en cuestión linda hacia el oeste con otra fragua (F1) con la que comparte un muro medianero levantado en mampostería irregular trabada con argamasa de barro de unos 0,40 m de grosor. Está formado por un espacio trapezoidal flanqueado en su lado oeste por una habitación anexa (3,7 m²), muy similar a la que se ubica en el taller vecino. No se ha documentado el acceso principal, de modo que su planta no se puede considerar totalmente completa. Su secuencia estratigráfica muestra que debajo de los niveles más superficiales, unos paquetes de tierra y piedras, resultantes del colapso de las elevaciones del espacio, sellan unos estratos muy ricos en carbones, escorias y tierra rubefactada (Fig. 3). A diferencia de lo que suele ocurrir en los contextos domésticos del yacimiento (Gilotte y Cáceres, eds., 2017, p. 67), estos estratos contienen escasísimos materiales cerámicos, muy fragmentados y revueltos, con un claro carácter residual tal como lo sugiere su posición en la estratigrafía. Los pocos fragmentos significativos se limitan a un fondo de atañor melado y manganeso con doble repié bien presente en los contextos de mediados del XII del yacimiento; otro en verde y manganeso cuyo pie un poco alto encuadraría por lo menos en el siglo XI (pero sin mucha posibilidad de paralelo al faltarle el resto del perfil); un borde de un cántaro con trazos pintados en blanco y el borde de una olla con escotadura y vidriado marrón interior, con una representación discreta en los niveles de abandono del yacimiento⁷.

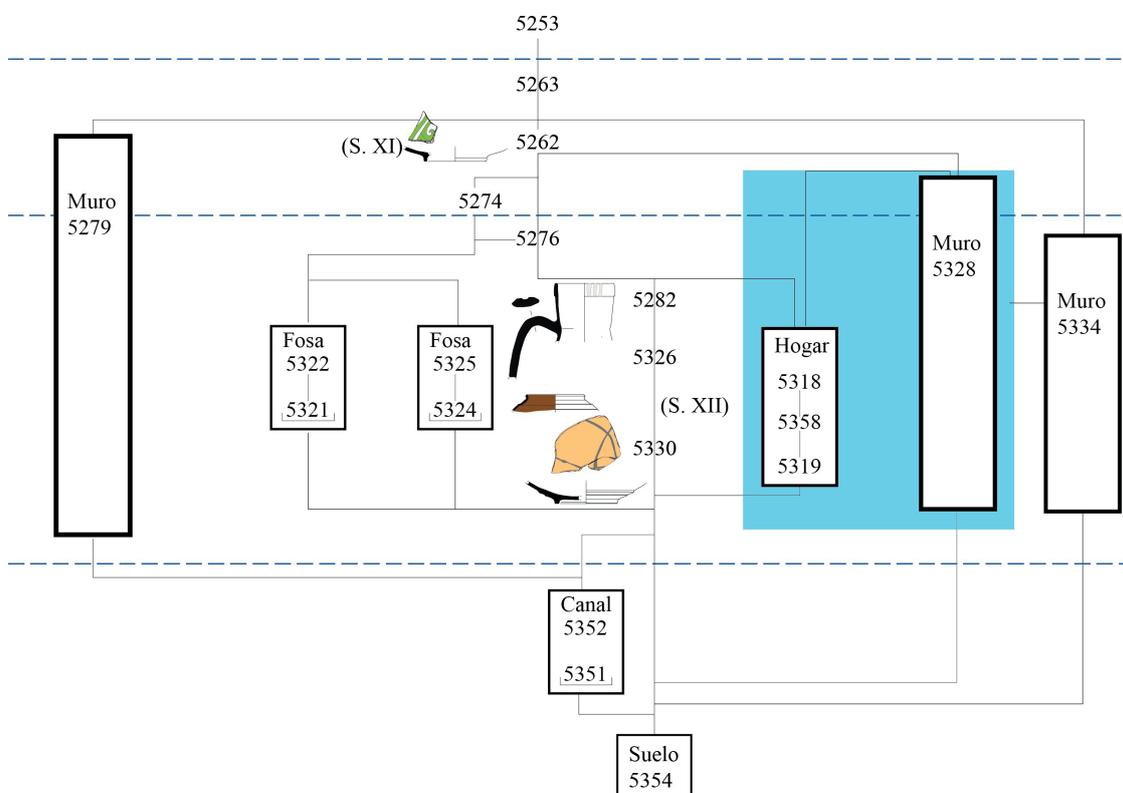


Fig. 3 – Secuencia estratigráfica documentada en el taller S3-J.

⁷ Estaría atestiguada desde al menos la primera mitad del s. XII en el Garb (Gómez, 2018, p. 146).

Al carecer de datos más precisos sobre el momento de su abandono, solo se puede trasladar los datos disponibles para el taller colindante, donde se ha hallado un quirate almorávide a nombre de ‘Alī ibn Yūsuf y del príncipe heredero [al-amīr] Tāšfīn, o sea, con un intervalo cronológico muy estrecho, comprendido entre los años 1139-1143 (Jablonska, 2017, p. 60). A día de hoy, ningún argumento autoriza a dar al taller que nos ocupa aquí una fecha distinta a la del espacio vecino, que parece haber funcionado hasta poco antes de la toma de Albalat por las tropas cristianas a mediados del s. XII.

Además, al igual que muchos de los espacios documentados, este taller muestra evidencias de haber sufrido una importante reestructuración interna, que afectó también a los espacios colindantes. Un tabique de poca entidad cierra una apertura que pudo estar conectada con la vivienda, parcialmente excavada, que se levanta en su frente norte. Parte de sus muros carecen de cimentación, asentándose directamente sobre el nivel del suelo, cuando no sellan una fosa abierta entre este taller y el vecino, fosa cuyo relleno de carbones y escorias delata la anterioridad de la actividad metalúrgica en esta área.

Las instalaciones propiamente dichas se limitan a fosas y a una estructura semicircular de gran tamaño (1,34 x 1,7 m) adosada contra un muro. Esta última, a modo de plataforma, se eleva unos 0,20-0,25 m por encima del nivel del suelo y conserva un reborde construido con piedras y barro, en gran parte rubefactado. En consonancia con esta observación, en su interior varias zonas muestran signos de haber sufrido fuertes alteraciones térmicas; la más grande de ellas (0,70 x 0,45 m) tiene una forma de pequeña depresión. Estas distintas placas de combustión se corresponden con tantos hogares como zonas de trabajo había, que pueden haber funcionado de modo simultáneo o alternado. Sus diferencias de dimensiones y distintos emplazamientos debieron de adaptarse a la organización espacial del trabajo dentro del taller y, sobre todo, al tamaño de los objetos fabricados, ya que existe una correlación estrecha entre ambos, es decir, entre el hogar y el objeto. No quedan vestigios de los fuelles o de las toberas que estarían asociados a cada hogar, salvo indicios indirectos que mencionaremos luego.

Es interesante notar que la concepción de esta gran “plataforma-hogar” difiere sobremanera de la del hogar presente en el taller vecino: allí, se encuentra una fosa rectangular excavada en el suelo que conserva un orificio de entrada de aire (Gilotte y Galtier, 2014) con bastante parecido con las cubetas del castillo de Palmela (Fernandes, 2006, p. 174, fig. 5) o del castillo de Gauzón, en Asturias (Fernández *et al.*, 2019, p. 628, fig. 7). Por otra parte, una estrecha zanja corta el nivel de circulación y pasa por debajo de los muros, sin que se haya podido comprobar su prolongación más allá de ellos. Si bien su función es incierta, la naturaleza de su relleno, con desechos de fragua, indica que estaba en uso durante los trabajos metalúrgicos realizados en este taller. Finalmente, una doble fosa junto al hogar completa las instalaciones. La naturaleza de su relleno (escorias, carbones) no permite precisar su función, dejando abierta la posibilidad de que pudo haber servido para calzar un yunque y/o de basurero.

3. Los combustibles: ¿hacia un uso selectivo de las especies?

Los carbones están presentes en todos los estratos asociados al uso del taller, siendo estos unos de los desechos más abundantes. Su análisis permite plantear la cuestión de las especies vegetales utilizadas como combustible e “ingrediente” en los procesos de cementación y elaboración del hierro, así como acercarse a la gestión de los recursos leñosos del entorno. Aunque haría falta multiplicar las muestras, los resultados preliminares del estudio realizado ponen en evidencia una variedad muy limitada, con solamente dos taxones presentes: predomina una conífera, la madera de pino, seguida con valores más discretos de madera de fresno. Curiosamente, esta combinación no se repite en los otros espacios metalúrgicos del yacimiento.

En comparación, la fragua vecina ofrece no solo un panel con una mayor diversidad de especies, sino que el pino y el fresno están totalmente ausentes, siendo sustituidos, entre otras plantas, por las malváceas, el olivo, la encina o coscoja (*Quercus* de tipo perennifolio) que puede convertirse en un contenido monoespecífico en algunas muestras⁸ (Fig. 4). Si bien es cierto que las maderas se pueden diferenciar por sus propiedades caloríficas⁹ y su conducta en la combustión, no se pueden tener en cuenta estas consideraciones al tratarse de carbones de maderas ya procesadas¹⁰. Estos carbones de leña poseen un poder calorífico mayor que las propias maderas y, por tanto, resultan más eficientes para el trabajo del metal. No se puede afirmar que la selección de taxones muy concretos, como aquí, esté relacionada con una especialización, ya que podría corresponder a un momento específico (el último), no representativo del conjunto de las operaciones metalúrgicas. Se podría traer a colación un paralelo sacado de una fragua del centro-oeste de Francia, perteneciente a un contexto cronológico, cultural y ambiental totalmente distinto, donde se ha observado una pobreza taxonómica similar (Dabas, Dieudonné-Glad y Poirier, 2002, pp. 150-152). Más allá de la anécdota, demasiado aislada para poder resultar pertinente, es llamativo observar cómo los distintos argumentos que plantean sus autores podrían trasladarse aquí sin mayor problema.

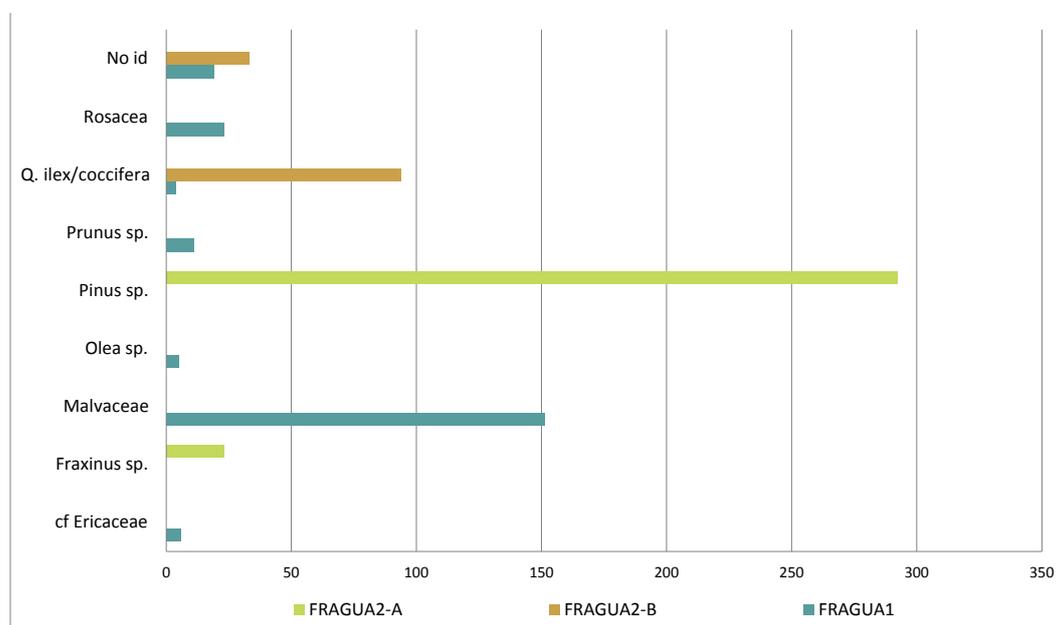


Fig. 4 – Diagrama de los taxones presentes en los distintos talleres de fragua de Albalat.

Por otra parte, la etnografía documenta los hábitos de los herreros, que asocian a veces de forma empírica una especie concreta, con una propiedad bien diferenciada, requerida para el metal trabajado¹¹. En cualquier caso, estos restos vegetales pertenecen a las formaciones arbóreas del entorno más o menos aledaño del yacimiento: el fresno formaba parte del bosque de ribera cercano, mientras que el pino podría proceder de los depósitos arenosos del río Tiétar (Ros *et al.*, 2018, p. 81). Estos mecanismos de selección del combustible tuvieron que acompañarse de una preparación de la leña para obtener el carbón, dejando abierta la cuestión de la presencia de carboneras en las cercanías.

⁸ En el relleno de la fosa de S3-1, de cronología anterior a la mitad del s. XII.

⁹ No obstante son muy similares si se comparan con el poder calorífico del “carbón de tierra”.

¹⁰ Respecto a la escasez de ejemplares vitrificados, se ha de recordar que algunas especies son más propensas a vitrificarse que otras. Este proceso dista mucho de estar bien comprendido: Vaschalde, Durand y Thiriot, 2011. En cualquier caso, por una cuestión físico-tecnológica (de temperatura alcanzada) se descarta que se pudiera utilizar madera en el procedimiento de fragua.

¹¹ Se agradece a Christophe Vaschalde el haber compartido con nosotros sus observaciones etnográficas.

4. Caracterización macro y microestructural de los residuos

No obstante, son los subproductos de tarea de forja los que sirven, a través de su cuantificación, estudio macroscópico y análisis metalográfico, para diagnosticar y aclarar la naturaleza de las labores realizadas en el taller (Le Carlier *et al.*, 2007, pp. 16-17; Fluzin *et al.*, 2000; Simón *et al.*, 1997, p. 222). Para ello, se tomaron en tres unidades estratigráficas 14 muestras que equivalen aproximadamente a 77 kg de sedimento¹². Tras un proceso de criba con agua, se procedió a separar, o bien visualmente, o bien con la ayuda de un imán, los distintos desechos siderúrgicos. Sin mayor sorpresa, su análisis macroscópico autoriza agruparlos en tres grandes familias, características del trabajo de post-reducción y de forja. Han proporcionado asimismo un poco más de 3 kg de residuos de hierro, 35 kg de escorias en sentido genérico, y casi 10 kg de partículas magnéticas o “batiduras”¹³ (Fig. 5).



Fig. 5 – Distintos subproductos de forja colectados en el taller.

Estas últimas corresponden a unos microdesechos magnéticos, a menudo de color gris-azulado, formados por óxido de hierro. Estos se desprenden de la costra superficial del metal por causa de una acción térmica o mecánica (Mangin, ed., 2004, pp. 102-105; Berranger, 2014, p. 34). Su tamaño milimétrico-centimétrico favorece su preservación en los niveles de ocupación y, en general, se admite que sus formas pueden ser reveladoras de operaciones concretas, si bien exige cierta cautela a la hora de interpretarse.

Una primera aproximación, a modo de test, apunta que las escamas o virutas parecen más numerosas que las globulares y bolitas que remiten al proceso de acabado o reciclaje de los objetos. Mientras que las globulares se suelen generar durante el martilleo de productos brutos o con superficies aún poco regulares,

¹² UE 5322, US 5330, US 5352, cribadas sobre mallas de 3 cm y 500 µm, a las cuales se añaden restos seleccionados manualmente de otras UE.

¹³ <http://diccionario.raing.es/es/lema/batidura>.

las bolitas evidencian una fluidificación de la superficie del metal y se forman durante las operaciones de soldadura o durante una quemadura superficial del metal. En cambio, las escamas, de forma plana, resultan del martilleo de productos planos o sea de artefactos casi finalizados, mientras que su tamaño sería proporcional al del objeto trabajado (Berranger, 2014, p. 40). Se ha detectado una mayor concentración de estas bataduras en el tercio sur del taller y especialmente en el interior de la zanja. Tal acumulación se podría achacar a la inclinación del suelo que hubiera favorecido su desplazamiento, tal vez ayudado por acciones de limpiezas, actuando el canal como trampa en este caso, o por la realización de operaciones de martilleo muy cerca de esta zona. La ausencia de la implantación de una cuadrícula en el momento de la excavación no permite zanjar este punto.

La segunda categoría cuenta con casi 2000 restos “escoriados”. Dentro de ellos, sobresalen 179 fragmentos vitrificados que proceden de las paredes de hogar: su presencia se explica por la necesidad de limpiar la estructura de combustión al final de cada ciclo de trabajo. Aquello implica a menudo raspar o quitar parte de las paredes antes de proceder a su restauración. Varios de estos fragmentos conservan el negativo de la entrada del aire del fuelle, siendo de diámetro muy parecido con medidas comprendidas entre 1 y 2 cm. En el eje de la tobera, donde se alcanzan las temperaturas más altas debido a una mayor concentración de oxígeno (que asegura una combustión más eficiente), se acumulan impurezas como carbones, adyuvante de sílice, óxidos de hierro, pérdidas de metal que acaban formando un conglomerado por fluidificación (Fig. 6). El tamaño y la masa de estas escorias de post-reducción dependen de la proporción de las pérdidas y, por tanto, de la intensidad del trabajo de fragua. Una fase de trabajo de corta duración generaría pequeñas escorias sin formas determinadas mientras que una operación más larga ocasionaría una escoria que adquiere a menudo un perfil característico planoconvexo, llamada “*culot de forge/ scorie en forme de calotte*”/“escoria o “torta en casquete” o “calota” (en portugués “*escoria em calote*”).

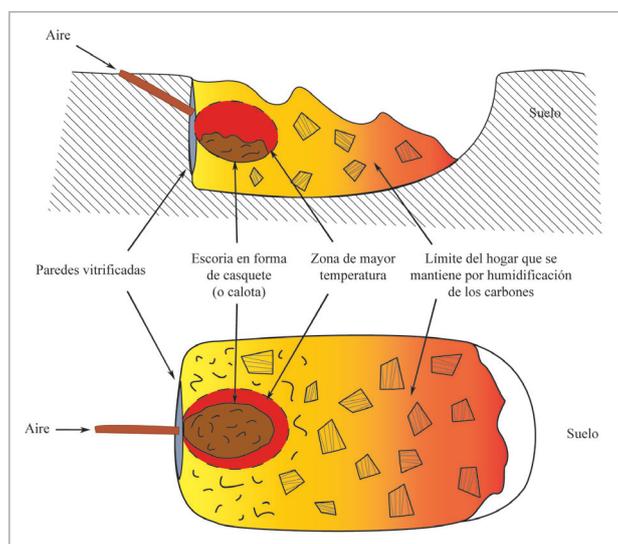


Fig. 6 – Representación esquemática de un hogar de fragua con la formación de una calota planoconvexa según S. Bauvais (BAUVAIS, Sylvain; CABBOI, Sandra; DUNIKOWSKI, Christophe; BERRANGER, Marion [2018], – La Forge. In *Les Sénons. Archéologie et histoire d'un peuple gaulois*, Gent: Snoeck, p. 152, fig. 1).

La caracterización de las 164 calotas recolectadas se ha basado en la clasificación y terminología acuñada por V. Serneels (1993, 2000) adoptada y revisada desde entonces por muchos investigadores, que se puede aplicar desde esta primera etapa de análisis visual (Anderson *et al.*, 2000; Serneels y Perret, 2003). Sin entrar en el detalle de los 17 subgrupos identificados, en el conjunto predominan las “escorias grises densas (SGD)” o de matriz fayalítica (55%) que se forman durante los procesos de depuración y

fabricación. Están seguidas por el grupo de las “escorias ferrosas oxidadas (SFR)” (41%), bien reconocibles por su aspecto oxidado y magnetismo fuerte que se puede relacionar con una mayor concentración de metal, debido a la depuración de una esponja poco compacta, o a una operación de reciclaje. Finalmente, las escorias “arcillosas-silíceas (SAS)” están representadas por muy pocos ejemplares (4%). Resultan en mayor parte de las adiciones de sílice (normalmente arena) que “el herrero arrojaba a puñados para que actúe como desoxidante” (Rovira, 2017), para limpiar y proteger el hierro, especialmente para la realización de una soldadura. Su escasez podría sugerir que el metal trabajado estaba ya relativamente depurado.

Un primer estudio metalográfico de algunas escorias¹⁴, viene a confirmar las tendencias observadas de visu, a la vez que aporta precisiones acerca de la microestructura interna y de la caracterización de sus componentes. Son escorias microestructuralmente heterogéneas tanto en el reparto de sus tres componentes minerales básicos, fayalita, wüstita y magnetita, como en la morfología de los cristales, todo ello dentro de la misma muestra. Hay zonas predominantemente fayalíticas junto a otras en las que el óxido de hierro es muy abundante, unas veces como wüstita, otras como magnetita (Fig. 7). La presencia de magnetita en la figura anterior certifica que es una escoria de forja formada cerca de la salida de aire de la tobera, donde el ambiente es más oxidante; al mismo tiempo, las dendritas de óxido de hierro indican temperaturas de trabajo de la fragua holgadamente superiores a los 1200 °C. Las diferencias observadas se deben a distintos episodios termoquímicos dentro de un proceso de trabajo del hierro de duración prolongada.

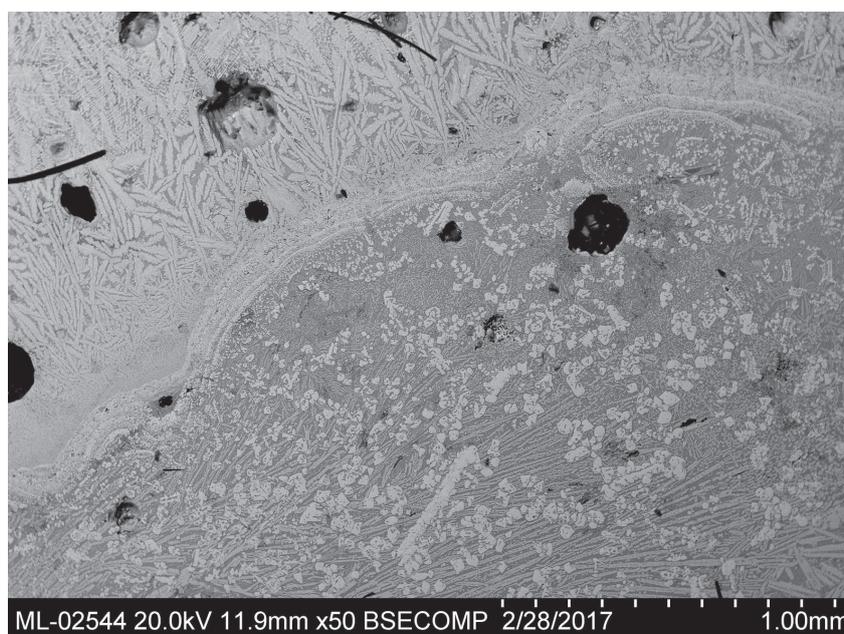


Fig. 7 – Escoria de forja ALB15/S3-J/UE5282/ESC_5. Obsérvese la diferencia estructural entre dos zonas de la escoria. Hacia la esquina superior izquierda el campo es predominantemente fayalítico, con cristales bien desarrollados en forma de plumas, sobre las que se superponen finas dendritas (color blanco) de óxido de hierro. En la parte opuesta de la imagen, separado del anterior por varias capas ricas en óxido de hierro, el campo muestra fayalita cristalizada en forma de bastones esqueléticos con abundantes cristales geométricos de magnetita (color gris claro). Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Como era de esperar, en la superficie de las escorias se localizan bataduras de forja que se desprenden del hierro cuando se está calentando en la fragua (Fig. 8). Las bataduras de forja son mucho más abundantes en el suelo del taller, junto al yunque, pero algunas quedan adheridas al metal en las últimas pasadas de martillo y se despegan al introducir la pieza entre las brasas, acabando integradas a veces en la calota de escoria.

¹⁴ Comprende el análisis exhaustivo de cuatro escorias por microscopía electrónica de barrido (SEM) en el laboratorio Microlab del Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC, Madrid, realizado por uno de los autores (Salvador Rovira).

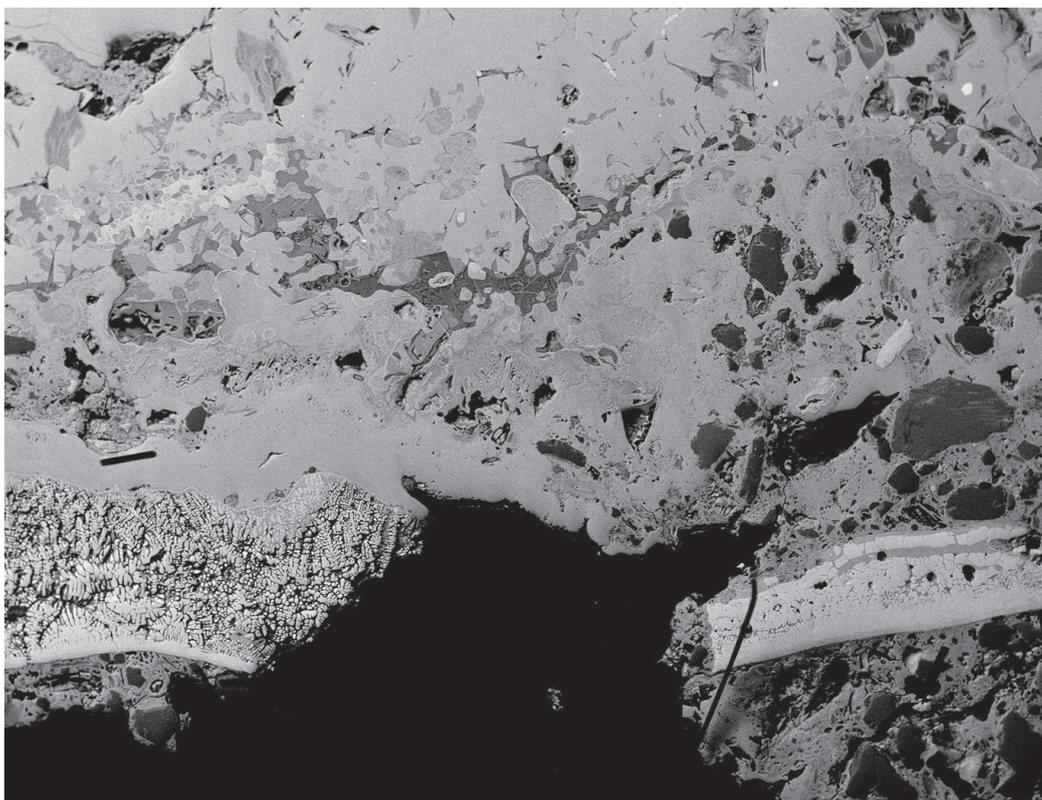


Fig. 8 – Escoria de forja ALB15/S3-J/UE5329/ESC_8. Escamas y bolitas (color blanco) provocadas por la forja del hierro, depositadas en la escoria de la fragua. Imagen SEM, electrones retrodispersados.

Por otro lado, los 609 fragmentos de hierro recuperados son indicativos de los artefactos forjados o reciclados en el taller. Este grupo heterogéneo reúne elementos metálicos que pueden ser esbozos, defectos, a menudo asociados a marcas de trabajo como serían cortes en caliente, perforaciones, martilleo o soldadura. De este modo, se han podido aislar 148 piezas, entre las cuales se pueden señalar unas posibles barras para forjar¹⁵ y unos pocos semi-productos, como una hipotética cabeza de herramienta en curso de elaboración. Gran parte de los restos se puede clasificar como pérdidas o residuos de forja, que incluyen unos vástagos o seda de presión, varillas o chapas dobladas aplastadas y hasta un fragmento de cincel.

Lamentablemente, el estado actual de las piezas, todavía sin restaurar, solo permite apreciar puntualmente algunas de las marcas o ángulos de corte que remiten a las técnicas y prácticas que pueden variar de un herrero a otro. Queda por tanto mucho por hacer antes de llegar a resultados concluyentes. A primera vista, los indicios de reciclaje podrían resultar bastante tenues, pero el carácter fragmentario de gran parte de las piezas sugiere que se trata en su mayoría de chatarra, acumulada en el taller con vistas a su reutilización. No puede ser de otra forma en el caso de las herraduras, que no se perforaban antes de ajustarse al casco del équido. En cualquier caso, este conjunto de piezas presenta una variedad tipológica muy limitada (clavos, clavos de herradura, herraduras y varillas de diversos tamaños), nada representativa del amplio corpus presente en otros contextos del yacimiento.

¹⁵ Con paralelos tipológicos en yacimientos fechados entre la Edad del Hierro y finales de la Edad Media en Francia, indicio de cierta permanencia en la forma de trabajar el hierro en Europa occidental.

5. La producción de los objetos de hierro en Albalat: primeras conclusiones y perspectivas

Llegados a este punto, ¿qué hipótesis podemos formular acerca de la actividad de este taller, de su inserción en la economía local o de las redes de abastecimiento de materia prima? A pesar de no conservarse indicios de los productos acabados, o sea de la producción de esta fragua, los datos disponibles apuntan a un buen nivel tecnológico y a fraguas con una actividad continuada habitual. Las calotas ofrecen una muestra bastante fiable de los ciclos de trabajo efectuados a nivel local: tendríamos aquí 164 ciclos, entendidos como el periodo de trabajo entre el encendido y la extinción del hogar y durante el cual se puede depurar, reciclar o elaborar varios artefactos. La escasez de “doble-calotas” (una montada sobre otra) evidencia una limpieza regular del hogar entre cada ciclo, corroborada por los restos de paredes y por las calotas generadas en condiciones estables durante largas operaciones. La relativa diversidad de estas, en términos de peso, tamaño y caracterización, remite a variaciones en los procesos de forja. Algunas de ellas responden a la elaboración y al acabado de objetos mientras otras pocas podrían pertenecer a tareas de depuración. A esta última labor podrían remitir algunos chorretones de escoria, hallados exclusivamente dentro del hogar.

Obviamente, faltaría recurrir a otros análisis metalúrgicos para caracterizar la pericia de los herreros, sus gestos y el uso de tratamientos peculiares a partir de los semiproductos y artefactos, tal como se ha hecho, por ejemplo, para un conjunto de artefactos metálicos de Marmuyas, Málaga o del yacimiento cristiano de l'Esquerda, Barcelona (Suárez *et al.*, 1997; Amblàs, Molera y Ollich, 2008).

Por otro lado, siguiendo una modelización bastante más simplificada que la propuesta por Anderson *et al.* (2003) se arroja una aproximación cuantitativa del metal inicial perdido en las distintas escorias, en torno a 10 kg. La correlación no es tan evidente con la masa de metal trabajado (por defecto superior al metal perdido), pero invita a reflexionar sobre la cantidad de artefactos producidos con un determinado peso de hierro, dando un orden de magnitud bastante ilustrativo: una producción de 10 kg de artefactos de hierro puede abarcar desde más de 3000 clavos de herraduras (con un peso medio de 3 g), o entre unos 300 y 800 dardos (peso comprendido entre 12 y 30 g) o, aun, entre 200-300 hojas de cuchillo (entre 30-50 g según el tipo). Encontramos una alusión en el tratado de *hisba* de al-Saqāṭī, de época almohade, que propone varias relaciones de peso/cantidad: “*De un lingote de hierro, que pesa una arroba y cuarto, sale una arroba de clavos. Hay cuarenta clavos en un cuarto de arrelde. La arroba consume un saco carboneril de carbón*” (Chalmeta y Corriente, 2014, p. 180).

Además, la presencia no de uno, sino de varios talleres metalúrgicos coetáneos en una aglomeración a lo sumo de importancia secundaria y tamaño reducido (2 ha intramuros), sugiere que estaban destinados a satisfacer algo más que las simples tareas de mantenimiento y producción de utensilios cotidianos. El peso muy significativo de equinos en el registro arqueológico (patente en restos faunísticos y arreos ecuestres) deja pensar que tenía que canalizar cierta parte del abastecimiento en hierro. El armamento, tan presente en el yacimiento, podría haber representado otra vertiente, aunque faltan indicios directos para probarlo. También estos talleres podrían remitir a una especialización o compartimentación de los trabajos que no somos capaces de entender aún. Si es cierto que la dedicación aparentemente exclusiva a la siderurgia se repite en otro taller, uno de ellos parece haber introducido una diversificación con la realización de aleaciones de cobre (o más bien su reciclaje).

Finalmente, la ausencia de la etapa previa a las fraguas implica una fuente de abastecimiento exterior en sitios de reducción de mineral de hierro, tal vez ubicados en el vecino macizo de Las Villuercas cuyas cuarcitas armoricanas albergan abundantes óxidos de hierro de origen hidrotermal. Varios pequeños asentamientos mineros han sido detectados gracias a prospecciones (Gilotte, 2010, pp. 186, 203, 232), si bien una revisión de los datos obtenidos entonces llevaría a localizar un posible taller de fragua en uno de estos asentamientos. Sin embargo, sus cronologías *a priori* algo más antiguas (ss. IX-XI), junto con la falta de caracterización arqueométrica de sus escorias de sangrado y minerales asociados no permiten de momento validar esta procedencia.

Bibliografía citada

AAVV, (1996) – *I Jornadas sobre Minería y Tecnología en la Edad Media Peninsular*, León: Fundación Hullera Vasco-Leonesa.

AMBLÀS NOVELLAS, Oriol; MOLERA, Judit; OLLICH CASTANYER, Imma (2008) – Estudio arqueometalúrgico: la herrería medieval de l'Esquerda, siglos XII-XIII d.C. (Roda de Ter, Catalunya). In ROVIRA LLORENS, Salvador; GARCÍA-HERAS, Manuel; GENER MORET, Marc; MONTERO RUIZ, Ignacio, eds. – *VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Madrid: CSIC, pp. 500-510.

ANDERSON, Timothy J.; AGUSTONI, Clara; DUVAUCHELLE, Anika; SERNEELS, Vincent; CASTELLA, Daniel (2003) – La forge et le travail du fer. In *Des artisans à la campagne. Carrière de meules, forge et voie gallo-romaines à Châbles (FR)*. Fribourg: Academic Press Fribourg, pp. 77-174.

BAZZANA, André; TRAUTH, Norbert (2008) – Minéralurgie et métallurgie à Saltés et dans son arrière-pays (Huelva). Les technologies médiévales à la lumière des fouilles de la ville islamique. In CANTO GARCÍA, Alberto; CRESSIER, Patrice, eds. – *Minas y metalurgia en al-Andalus y Magreb occidental. Explotación y poblamiento*. Madrid: Casa de Velázquez, pp. 209-243.

BERTRAND, Maryelle; SÁNCHEZ VICIANA, José R. (2008) – Production de fer et peuplement de la région de Guadix (Grenade) au cours de l'Antiquité tardive et du haut Moyen Âge. In CANTO GARCÍA, Alberto; CRESSIER, Patrice, eds. – *Minas y metalurgia en al-Andalus y Magreb occidental. Explotación y poblamiento*. Madrid: Casa de Velázquez, pp. 123-157.

BERTRAND, Maryelle; SÁNCHEZ VICIANA, José R.; GARRIDO GARCÍA, José A. (2002) – Poblamiento y explotación del territorio de la Región de Guadix-Baza durante la Edad Media. *Anuario Arqueológico de Andalucía 1999*, pp. 30-40.

BOONE, James L. (1993) – The third season of the excavations at Alcaria Longa. *Arqueologia Medieval*. Porto/Mértola. 2, pp. 111-126.

BERRANGER, Marion (2014) – *Le fer, entre matière première et moyen d'échange, en France, du VII^e au I^{er} siècle av. J.-C.: approches interdisciplinaires*. Dijon: Éditions universitaires de Dijon.

CANTO GARCÍA, Alberto; CRESSIER, Patrice, eds. (2008) – *Minas y metalurgia en al-Andalus y Magreb occidental. Explotación y poblamiento* (Collection de la Casa de Velázquez, 102). Madrid: Casa de Velázquez.

CATARINO, Helena (2012) – The Castelo Velho de Alcoutim: mining and traces of metallurgy. *Conimbriga*. Coimbra. 51, pp. 119-149.

CHALMETA, Pedro; CORRIENTE, Federico, eds. (2014) – *Libro del buen gobierno del zoco de al-Saqāṭī*. Almería: Fundación Ibn Tufayl.

COSTA CARAMÉ, Manuel Eleazar (2008) – *Estado actual de la investigación arqueometalúrgica en España: una aproximación bibliométrica*. In ROVIRA LLORENS, Salvador; GARCÍA-HERAS, Manuel; GENER MORET, Marc; MONTERO RUIZ, Ignacio, eds. – *VII Congreso Ibérico de Arqueometría*. Madrid: CSIC, pp. 398-409.

CRESSIER, Patrice (1998) – Observaciones sobre fortificación y minería en la Almería islámica. In MALPICA CUELLO, Antonio, ed. – *Castillos y territorio en al-Andalus*. Granada: Athos-Pergamos, pp. 470-496.

DABAS, Michel; DIEUDONNÉ-GLAD, Nadine; POIRIER, Philippe (2002) – Caractérisation des structures d'une forge antique : approche archéologique, géophysique et anthracologique. *ArchéoSciences*. 26:1, pp. 141-154.

DILLMANN, Philippe; LEROY, Stéphanie; DISSER, Alexandre; BAUVAIS, Sylvain; VEGA, Enrique; FLUZIN, Philippe (2015) – Dernières avancées des études sur la production, la circulation et la datation des métaux ferreux archéologiques. *Les Nouvelles de l'Archéologie*. 38, pp. 28-34.

ECHEVARRÍA ARSUAGA, Ana (2019) – La minería en al-Ándalus. In *Las artes del metal en al-Ándalus*. Madrid: P & M Ediciones, pp. 21-28.

FERNANDES, Isabel Cristina (2006) – Uma forja islâmica em Palmela. In *Al-Ándalus. Espaço de mudança: balanço de 25 anos de história e arqueologia medievais. Homenagem a Juan Zozaya Stabel-Hansen*. Mértola: Campo Arqueológico de Mértola, pp. 171-180.

FERNÁNDEZ CALDERÓN, Noelia; IBÁÑEZ CALZADA, Covadonga; GARCÍA ÁLVAREZ-BUSTO, Alejandro; MUÑIZ LÓPEZ, Iván (2019) – Aproximación al taller artesanal metalúrgico del castillo de Gauzón (Castrillón, Asturias). Arqueología de la producción en el reino de Asturias. In GARCÍA ÁLVAREZ-BUSTO, Alejandro; GARCÍA DE CASTRO VALDÉS, César; RÍOS GONZÁLEZ, Sergio, eds. – *1300 Aniversario del origen del Reino de Asturias. Congreso internacional. Del fin de la Antigüedad Tardía a la Alta Edad Media en la península ibérica (650-900)*. Oviedo: Anejos de *Nailos* 5, pp. 621-642.

FLUZIN, Philippe; PLOQUIN, Alain; SERNEELS, Vincent (2000) – Archéométrie des déchets de production sidérurgique. Moyens et méthodes d'identification des différents éléments de la chaîne opératoire directe. *Gallia*. 57, pp. 101-121.

GILLOTTE, Sophie (2010) – *Aux marges d'al-Andalus. Peuplement et habitat en Estrémadure centre-orientale (VIII^e-XIII^e siècles)*. Helsinki: Academia Scientiarum Fennica.

GILLOTTE, Sophie; GATIER, Céline (2014) – Un taller metalúrgico en Albalat, s. XII (Cáceres, Extremadura): primeros datos. Poster presentado al *VIII Congreso Internacional sobre minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo*. Granada. (Inédito).

GILLOTTE, Sophie; CÁCERES GUTIÉRREZ, Yasmina (eds.) (2017) – *Al-Balāṭ. Vida y guerra en la frontera de al-Andalus*. Cáceres.

GÓMEZ-MARTÍNEZ, Susana (2018) – La cultura material del Garb al-Andalus en el siglo XI. In SARR, Bilal, ed. – *Tawa'if: Historia y arqueología de los reinos de taifas (siglo XI)*. Granada: Alhulia, pp. 139-176.

- GRANGÉ, Mathieu; VILHENA, Jorge (2009) – Les activités sidérurgiques dans les campagnes du Gharb al-Andalus : l'exemple de la vallée du Mira (Bas Alentejo, sud du Portugal). *Revue des mondes musulmans et de la Méditerranée*. 126, pp. 65-88.
- GÓMEZ MORENO, Manuel (1986) – *Medina Elvira*, edición facsímil de 1888. Granada: Grupo de Autores Unidos.
- JABLONSKA, Wioleta (2017) – Quirates almorávides. In GILOTTE, Sophie; CÁCERES GUTIÉRREZ, Yasmina, eds. – *Al-Balat. Vida y guerra en la frontera de al-Andalus (Romangordo, Cáceres)*. Cáceres, pp. 60-61.
- JIMÉNEZ-CAMINO ÁLVAREZ, Rafael; SUAREZ PADILLA, José; TOMASSETTI GUERRA, José M.; PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio (2010) – Herrerías en la Algeciras omeya. In PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio; CARRIAZO RUBIO, Juan Luis, eds. – *Estudios de minería medieval en Andalucía*. Huelva: Universidad de Huelva, pp. 63-98.
- JUAN GARCÍA, Antonio de (2013) – *La patrimonialización de un yacimiento arqueológico: Alarcos (1984-2010)*. Ciudad Real: Universidad de Castilla La Mancha (inédito). Disponible en: <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/3257>.
- De KEUKELAERE, Pauline, PALMA, Maria de Fátima (2018) – Metodologias de escavação da forja islâmica da Casa XVI da Alcáçova do Castelo de Mértola: primeiros resultados. Poster presentado al *X Encontro de Arqueologia do Sudoeste Peninsular*, Zafra (inédito).
- LE CARLIER, Cécile; LEROY, Marc; MERLUZZO, Paul (2007) – L'apport de l'analyse morphologique, microscopique et chimique des scories en forme de culot à la restitution des activités de forge. *ArchéoSciences*. 31, pp. 23-35.
- MANGIN, Michel, ed. (2004) – *Le fer*. Paris: Errance.
- MENASANCH DE TOBARUELA, Montserrat (2001) – Una aproximación a la minería y la metalurgia andalusí en la depresión de Vera (Almería). *Arqueología y territorio medieval*. 7, pp. 59-79.
- PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio (2002) – La herrería califal-taifa del Cabezo de la Mina (Lucena del Puerto, Huelva). *SPAL. Revista de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Sevilla*. Sevilla. 11, pp. 419-431.
- PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio (1999) – Cerro Salomón y la minería hispanomusulmana en Garb al-Andalus. *Arqueología Medieval*. Porto/Mértola. 6, pp. 19-39.
- PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio; DELGADO DOMÍNGUEZ, Aquilino (2011) – Ingeniería minera antigua y medieval en el suroeste ibérico. *Boletín geológico y minero*. 122:1, pp. 3-16.
- PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio; PÉREZ RIVERA, José Manuel; PEREILA MOLINA, Francisco; NOGUERAS VEGA, Silvia (2017) – Trabajo del hierro en la Ceuta islámica. *Onoba*. 5, pp. 103-121.
- PÉREZ MACÍAS, Juan Aurelio; CARRIAZO RUBIO, Juan Luis (2010) – *Estudios de minería medieval en Andalucía*. Huelva: Universidad de Huelva.
- PUCHE RIART, Octavio; AYARZAGÜENA SANZ, Mariano, coord. (2005) – *Minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo*. Madrid: Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero.
- QUESADA SANZ, Fernando; MUÑIZ JAÉN, Ignacio; KAVANAGH DE PRADO, Eduardo; MORALEJO ORDAX, Javier; MARTÍNEZ SÁNCHEZ, Rafael (2012) – La ocupación de época emiral islámica del Cerro de la Cruz (Almedinilla, Córdoba): análisis de un contexto representativo: la fosa UN 1088/US 1077. *Antiquitas*. 24, pp. 203-221
- ROS, Jérôme; GARRIDO GARCÍA, José A.; RUIZ ALONSO, Mónica, GILOTTE, Sophie (2018) – Bioarchaeological results from the House 1 at Albalat (Romangordo, Extremadura, Spain): Agriculture, Livestock and Environment at the Margin of al-Andalus. *Journal of Islamic Archaeology*, Special issue. (5-1) *Agropastoral Landscapes of the Islamic World: Producing, Trading and Feeding*, pp. 71-102.
- ROVIRA I PORT, Jordi; CASANOVAS I ROMEU, Angels (2006) – Armas y equipos en la marca superior de al-Andalus. El reducto rural islámico de Solibernat (Lleida) y su panoplia militar en la primera mitad del siglo XII. *Gladius*. XXVI, pp. 149-174.
- ROVIRA LLORENS, Salvador (2017) – Escorias de fragua. In GILOTTE, Sophie; CÁCERES GUTIÉRREZ, Yasmina, eds. – *Al-Balat. Vida y guerra en la frontera de al-Andalus (Romangordo, Cáceres)*. Cáceres, p. 159.
- SEGOVIA FERNÁNDEZ, Ana María; CLAROS, Concha; MARTÍN PRADO, Petra; ARANDA PALACIOS, Ángel (2014) – El castillo de Calatrava la Nueva en el contexto de la batalla de las Navas de Tolosa. In CRESSIER, Patrice, SALVATIERRA CUENCA, Vicente eds. – *Las Navas de Tolosa 1212-2012: miradas cruzadas*. Jaén: Universidad de Jaén, pp. 645-654.
- SÉNAC, Philippe; GASC, Sébastien; GIBERT REBULL, Jordi; SAVARÈSE, Laurent (2020) – *Un habitat rural d'al-Andalus (X^e-XI^e siècles)*. *Les fouilles de Las Sillas (Marcén, Huesca)* (Collection de la Casa de Velázquez, 181). Madrid: Casa de Velázquez.
- SERNEELS, Vincent (1993) – *Archéométrie des scories de fer : recherches sur la sidérurgie ancienne en Suisse occidentale*. Lausanne: Cahiers d'archéologie romande.
- SERNEELS, Vincent (2000) – Apport des analyses chimiques à l'étude des vestiges sidérurgiques. In O.C. Antoni Vila, J. M. Bosch Casadevall, eds. – *Proc. 6e Curs d'Arqueologia d'Andorra. L'obtenció del ferro pel procediment directe entre els segles IV i XIX*. Andorra: Govern d'Andorra, Ministeri de Cultura, pp. 268-288.
- SERNEELS, Vincent; PERRET, Sébastien (2003) – Quantification of smithing activities based on the investigation of slag and other material remains. In *International Conference: the Archaeometallurgy in Europe conference*. Milano: Associazione Italiana di Metallurgia, pp. 469-478.
- SIMÓN ARIAS, Julia; MARSAL ASTORT, Montserrat; PÉREZ SUÑÉ, Josep M.; GÓMEZ SÁNCHEZ, Juana (1997) – Caracterización de las escorias de hierro y su interpretación en el contexto histórico-arqueológico. *Caesaraugusta*. 73, pp. 217-227.

SUÁREZ PADILLA, José; FERNÁNDEZ LÓPEZ, Sebastián; FERNÁNDEZ GONZÁLEZ, Trinidad; SOTO IBORRA, Antonio; NAVARRO LUENGO, Ildelfonso; SANTAMARÍA GARCÍA, José A.; FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, Luís-Efrén; MOYA GARCÍA, María Victoria (1997) – Resultados de la primera fase desarrollada del proyecto “ensayo tipológico y análisis metalográfico del ajuar metálico de época califal a través del asentamiento de Marmuyas (Comares, Málaga). Estudio de sus posibles abastecimientos minero-metalúrgicos”. *Anuario Arqueológico de Andalucía 1993*, vol. 2, pp. 118-129.

VILHENA, Jorge; GRANGÉ, Mathieu (2011) – Of slags and men. Iron mining and metallurgy in the Mira valley (Southwest Portugal) from Iron Age to the Middle Ages. In MARTINS, Carla Maria Braz; BETTENCOURT, Ana M. S.; MARTINS, José Inácio F. P.; CARVALHO, Jorge, eds. – *Povoamento e exploração dos recursos Mmineiros na Europa Atlântica Ocidental*. Braga: CITCEM, pp. 83-111.

VASCHALDE, Christophe; DURAND, Aline; THIRIOT, Jacques (2011) – Vitrification and craft fire in occidental Mediterranean. Describing characteristics, first results and research hypothesis. *SAGVNTVM Extra*. 11, pp. 19-20.