

ANÁLISIS DE “ESCORIAS” CALCOLÍTICAS DE FUNDICIÓN DE COBRE UTILIZANDO LA MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE BARRIDO

Salvador Rovira⁽¹⁾

Resumen

Hasta no hace mucho se venían considerando escorias metalúrgicas las típicas faylíticas. Sin embargo la producción de cobre en épocas muy remotas daba lugar a otros materiales escoriáceos, escasos en número, poco estudiados hasta ahora. El presente trabajo aborda el análisis sistemático, con el microscopio electrónico de barrido y otros instrumentos de laboratorio, de una serie de muestras encontradas en yacimientos calcolíticos españoles, llegando a la conclusión de que se trata de escorias inmaduras procedentes de fundiciones no escorificantes, estructuralmente poco homogéneas, en las que, junto a cantidades notables de mineral de cobre sin reducir, se han formado productos de reacción de la ganga del tipo de los piroxenos, akermanita y otros.

Palabras clave: escorias, cobre, Calcolítico, fundición no escorificante, análisis, piroxeno.

1. INTRODUCCIÓN

La mirada fija hacia Oriente, cuna de la metalurgia del cobre, y a los estudios arqueometalúrgicos que allí se estaban realizando en grandes campos minero-metalúrgicos como los de Timna (Israel) y Feinan (Jordania), han sido una de las causas de que se prestara poca atención a las metalurgias locales occidentales, que se venían considerando tradicionalmente filiales o derivadas de aquéllas y, en todo caso, más tardías.

En la década de los ochenta comenzó a percibirse en España que esa visión simplista del problema no podía sostenerse y chocaba frontalmente con las evidencias arqueológicas que se estaban descubriendo. La más notable, sin duda, fue el procedimiento de obtención de cobre por medio de sencillas vasijas de reducción de minerales [1], estudiadas con más detalle por Rovira y Montero [2] y, más recientemente, por Gómez Ramos [3], una tecnología que, sin ser exclusiva de la Península Ibérica [4],

⁽¹⁾ Museo Arqueológico Nacional. Serrano, 13. 28001 Madrid. E-mail: srl@man.es

en ella se mostraba muy extendida en el tiempo y en el espacio geográfico, desde la fase más temprana de la metalurgia en el Neolítico avanzado [5] hasta bien entrada la Edad del Hierro [6].

Nos encontrábamos, sin embargo, ante una curiosa situación: la cantidad de escoria encontrada en yacimientos con una evidente actividad productora de cobre, como por ejemplo Almizaraque (Almería), era prácticamente irrisoria y difícilmente calificable de tal escoria, ateniéndonos a las definiciones de manual o a las más específicas de Bachmann [7]. A lo largo del desarrollo del proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica (1982-1996) tuvimos ocasión de analizar unos pocos fragmentos calcolíticos y de la Edad del Bronce, estudiados luego por Gómez Ramos [3], quien llega a la conclusión de que, efectivamente, son escorias inmaduras, con sus fases constitutivas muy poco definidas, que retienen mucho cobre en forma de pequeñas bolitas de metal y mucho mineral cuprífero sin reducir.

Las evidencias nos hablaban de un proceso de obtención de cobre directamente del mineral, no escorificante (es decir, sin la adición intencionada de fundentes), lo que hacía presumir el beneficio de minerales seleccionados con poca ganga. Mientras, las líneas de investigación internacionales parecían prestar poca atención, en general, a los restos más antiguos, tras haber asumido, siguiendo a Tylecote [8], que la fundición no escorificante tampoco produciría escoria. De hecho Zwicker [9] no acertó a valorar en todas sus posibilidades las escorias de Norsun-Tepe (Irán) fechadas entre el 3500 y el 2800 a.C. Se asumía sin demasiada crítica que esta fase de fundición no escorificante debió ser breve y que los antiguos metalúrgicos, de un modo empírico, debieron encontrar pronto la manera de producir escorias fayalíticas añadiendo los fundentes adecuados para mejorar la extracción de metal. Pero si, ciertamente, esa primera etapa tiene poco interés para los historiadores de la tecnología porque reporta en sí poco avance (el metalúrgico aprovechaba los minerales tal como los extraía de la mina, procesándolos con técnicas pirometalúrgicas poco elaboradas), no sucede lo mismo con los historiadores de la cultura, para quienes la tecnología es un índice que sirve, junto con otros, para evaluar el grado de desarrollo de las sociedades pretéritas.

El primer asentamiento metalúrgico calcolítico de Oriente Próximo en el que se han llevado a cabo estudios exhaustivos es Wadi Fidan 4, en Jordania, subsidiario de la cuenca minera de Feinan. Está fechado radiocarbónicamente en la segunda mitad del IV milenio a.C. El trabajo de Hauptmann *et al.* [10] describe una metalurgia de crisol y un tipo de escoria inmadura que precede a la fundición escorificante que se desarrollaría más tarde en el Calcolítico final.

En cierto modo ese trabajo fue el pistoletazo de salida para investigar “otras escorias” y otros procedimientos para reducir los minerales de cobre, aunque nuestro equipo venía trabajando en ello desde bastante antes.

2. METODOLOGÍA DE TRABAJO E INSTRUMENTACIÓN

Las investigaciones del Proyecto de Arqueometalurgia se efectuaron utilizando la microscopía óptica para el estudio de secciones pulidas y análisis globales por fluo-

rescencia de rayos X, cuyos resultados se publicaron en Rovira *et al.* [11] y Gómez Ramos [3]. La instrumentación empleada no permitía extraer toda la información a las escorias, en particular en lo relativo a la composición de fases, aunque sirvió eficazmente para caracterizar estos subproductos y percatarnos de que no eran escorias fayalíticas típicas.

En esta ocasión se ha empleado la microscopía óptica y la microscopía electrónica de barrido (MEB), completando el análisis visual de muestras pulidas con análisis regionales o puntuales efectuados con la microsonda.

El MEB utilizado es un equipo Philips XL30, con fuente de wolframio, detectores de electrones secundarios y retrodispersados. El análisis químico semicuantitativo es por energía dispersiva de rayos X (vía ZAF), con detector de Si-Li y analizador DX4i de EDAX. El equipo ha sido operado por Esperanza Salvador, del Servicio Interdepartamental de Investigación de la Universidad Autónoma de Madrid.

En microscopía óptica se ha usado un banco metalográfico Reichert MeF3A del Laboratorio del Museo de América (Madrid).

Para la identificación analítica de las fases constituyentes de las escorias y de las inclusiones se ha procurado evitar en lo posible los análisis puntuales, en particular cuando la zona a investigar no presentaba una textura claramente homogénea. Por regla general se ha jugado con las posibilidades de aumento del MEB hasta delimitar bien el objeto, barriendo una pequeña ventana a la hora de analizarlo. La composición global de la escoria se ha extraído a partir de una ventana a 50x o de 100x (sólo en el caso de muestras muy pequeñas). Todas las muestras se han metalizado con oro.

3. ESTUDIOS ANALÍTICOS

Se han estudiado escorias de los siguientes yacimientos calcolíticos:

- Aldeagordillo (Ávila), yacimiento excavado y en estudio por José Francisco Fabián, del que se tienen dos fechas radiocarbónicas: 3685 ± 25 bp (GrN-19167) y 4115 ± 20 bp (GrN-19168), es decir, 1735 ± 25 ac y 2165 ± 20 ac en fechas convencionales no calibradas [12].
- Almizaraque (Cuevas del Almanzora, Almería). Para este sitio existen seis dataciones que van desde 4060 ± 70 bp (C.S.I.C.-754) hasta 3900 ± 50 pb (C.S.I.C.-647), 2110 ± 70 ac y 1950 ± 50 ac, respectivamente [13].
- Excavaciones en la calle Dolores Quintanilla de Carmona (Sevilla), realizadas por Elisabeth Conlin.
- El Picacho (Carmona, Sevilla), yacimiento excavado y en estudio por Elisabeth Conlin.
- Los Crisoles (Lorca, Murcia). Materiales proporcionados por Juana Ponce García.

Las muestras aquí estudiadas, si bien son pocas (diez), tiene una distribución geográfica extensa.

Las tablas 1 y 2 recogen los análisis de las composiciones globales y de las fases más características observadas, así como otras inclusiones presentes.

La composición global de la escoria de Aldeagordillo (ALD-1/7) indica que es básicamente un nódulo de silicato de aluminio y potasio, con menores porcentajes de hierro, calcio y potasio. Es un material poco homogéneo, en su mayor parte formado por una masa amorfa con abundante sílice libre. Regionalmente se aprecian áreas mejor conformadas aunque de naturaleza distinta. En unas la matriz es un silicato de aluminio y potasio (ALD-1/3) y en otras (ALD-1/5) hierro y manganeso son componentes fundamentales, con proporciones moleculares de piroxeno. En esta matriz piroxénica encontramos cristales poligonales formados principalmente por óxidos de hierro, manganeso y aluminio (ALD-1/4). Atrapadas en la escoria hay algunas bolitas de cobre metálico prácticamente puro (ALD-1/1), algunas rodeadas por una corona de óxido cuproso (ALD-1/2).

La escoria de Almizaraque es un pequeño nódulo en el que predomina el mineral de cobre sin reducir (ALMIZ-13/5). Es interesante hacer notar el elevado porcentaje de arsénico de esta muestra, lo que indica que el mineral original incluía en su polimetallismo el arseniato de cobre, además de otros compuestos oxídicos cupríferos. La presencia de cloro hay que atribuirlo a la formación de productos de corrosión post-deposicional y no al mineral de procedencia. La estructura general es poco homogénea. En las zonas de escoria mejor formada se aprecia una matriz de akermanita (ALMIZ-13/4), con cristales de magnetita rodeando algunas bolitas de óxido cuproso (ALMIZ-13/1) y de cobre arsenicado. Particularmente interesante es la inclusión de la figura 1, claramente bifásica, formada por cobre arsenical (ALMIZ-13/2) con segregados más ricos en arsénico de composición muy cercana a la eutéctica (ALMIZ-13/3).

La muestra CAR-11 de la calle Dolores Quintanilla es también una masa de mineral parcialmente reducido, apelmazado con ganga sin fundir, distinguiéndose fragmentos de sílice libre de bordes abruptos, es decir, que no han fundido. La matriz es rica en cobre (CAR-11/2) y hay nucleaciones de cuprita (CAR-11/1) y bolitas microscópicas de cobre metálico puro, algunas de ellas corroídas por el ion cloro (CAR-11/3).

La segunda muestra de este yacimiento es rica en mineral de cobre (CAR-12/7) y podría clasificarse como mineral parcialmente reducido. Abundan los grandes cristales de magnetita, habiéndose formado en su entorno un compuesto con aspecto de eutéctico cuyas láminas están

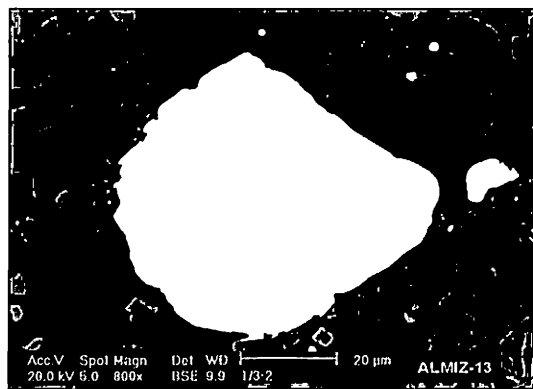


Figura 1. Inclusión de cobre arsenical rodeada de magnetita en la escoria ALMIZ-13.

Tabla 1. Análisis de escorias calcálticas (% en peso).

| Análisis | Región analizada | MgO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ | K ₂ O | TiO ₂ | CaO | MnO | FeO | NiO | CuO | ZnO | As ₂ O ₃ | SO | ClO | Clave |
|------------|------------------------|------|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|-------|-------|-------|-----|-------|-------|--------------------------------|-------|------|-------|
| ALD-1/3 | Matriz piroxénica | 0 | 16,77 | 68,54 | 11,88 | 0 | 1,15 | 0 | 1,65 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ALD-1/4 | Cristales | 0 | 15,53 | 1,71 | 0 | 1,02 | 0 | 11,52 | 70,22 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ALD-1/5 | Matriz piroxénica | 0 | 14,01 | 46,05 | 3,04 | 0,88 | 1,22 | 14,89 | 17,03 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ALD-1/6 | Zona gris clara | 0 | 12,77 | 44,07 | 5,42 | 1,3 | 29,26 | 0,59 | 4,26 | 0 | 2,33 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ALD-1/7 | Análisis global | 0 | 16,34 | 65,59 | 7,07 | 1,29 | 2,79 | 0,7 | 6,23 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ALMIZ-13/4 | Matriz akermanita | 3,91 | 3,94 | 37,52 | 0,43 | 0 | 42,1 | 0 | 5,09 | 0 | 0 | 7,01 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| ALMIZ-13/5 | Análisis global | 0 | 2,36 | 2,81 | 0,56 | 0 | 10,8 | 0 | 6,71 | 0 | 57,55 | 0 | 11,06 | 1,47 | 5,37 | 2 |
| CAR11-2 | Matriz | 0 | 5,24 | 39,96 | 3 | 0 | 2,28 | 0 | 5,74 | 0 | 43,79 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR11-3 | Cobre corroído | 0 | 2,65 | 9,57 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0,87 | 0 | 72,49 | 0 | 0 | 14,42 | 0 | 3 |
| CAR12-5 | Eutéctico, fase blanca | 0 | 0 | 10,13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 38,36 | 0 | 51,49 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR12-6 | Eutéctico, fase negra | 0 | 4,14 | 69,58 | 3,16 | 0 | 0 | 0 | 8,61 | 0 | 14,51 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR12-7 | Análisis global | 0 | 3,06 | 15,62 | 0,73 | 0 | 0 | 0 | 45,31 | 0 | 32,25 | 0 | 0 | 3,02 | 0 | 3 |
| CAR8-2 | Wüstita | 0 | 1,08 | 4,9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90,85 | 0 | 3,18 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR8-3 | Vidrio de relleno | 0 | 7,81 | 55,54 | 2,74 | 0 | 0 | 0 | 13,5 | 0 | 9,35 | 10,32 | 0,74 | 0 | 0 | 3 |
| CAR8-5 | Análisis global | 0 | 2,86 | 26,27 | 0 | 0 | 1,53 | 0 | 44,62 | 0 | 21,27 | 2,15 | 0 | 1,3 | 0 | 3 |
| CAR8-6 | Análisis global | 0 | 2,1 | 70,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 13,06 | 0 | 14,58 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| LC3-3 | Matriz | 0 | 3,9 | 4,6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 46,6 | 0 | 42,5 | 2,4 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC3-4 | Matriz | 0 | 13,6 | 28,9 | 2,2 | 0 | 0 | 0 | 11,6 | 1,3 | 42,4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC3-5 | Grano sílice | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC3-6 | Análisis global | 0 | 5,4 | 16,4 | 1,4 | 1,1 | 0 | 0 | 3,5 | 0,4 | 67,6 | 0 | 0 | 4,1 | 0 | 4 |
| LC4-3 | Matriz akermanita | 3,74 | 0,55 | 30,1 | 0 | 0 | 42,6 | 0 | 21,2 | 0 | 1,75 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC4-4 | Formaciones grises | 0,32 | 0,35 | 39,3 | 0 | 0 | 7,07 | 0 | 25,26 | 0 | 27,66 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC4-5 | Formaciones grises | 0,22 | 0,44 | 25,25 | 0 | 0 | 41,71 | 0 | 2,57 | 0 | 7,64 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC4-6 | Análisis global | 0,86 | 1,13 | 16,68 | 0 | 0 | 4,39 | 0,47 | 50,37 | 0 | 26,06 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC5-1 | Matriz | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC5-3 | Análisis global | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC6-2 | Matriz gris | 1,21 | 2,76 | 23,86 | 0 | 0 | 2,09 | 0 | 21,45 | 0 | 48,61 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC6-3 | Análisis global | 0,5 | 3,2 | 20,37 | 0 | 0 | 1,46 | 0 | 33,1 | 0 | 36,2 | 3,1 | 0 | 1,98 | 0 | 4 |
| PIC-1/2 | Matriz | 0 | 0 | 43,52 | 1,12 | 0 | 4,91 | 0 | 43,07 | 0 | 7,38 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| PIC-1/4 | Matriz | 0 | 0 | 40,67 | 1,07 | 0 | 6,07 | 0 | 36,07 | 0 | 16,13 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 |
| PIC-1/5 | Análisis global | 0 | 2,92 | 40,78 | 0,35 | 0 | 2,3 | 0 | 41,3 | 0 | 11,6 | 0 | 0 | 0,76 | 0 | 5 |

Clave: 1 Aldeagordillo, 2 Almizaraque, 3 Dolores Quintanilla, 4 Los Crisoles, 5 El Picacho.

Tabla 2. Análisis de escorias calcólicas (% en peso). Clave: como en la tabla 1.

| Análisis | Región analizada | O | Al | Si | S | Cl | Fe | Cu | As | Ag | Bi | Clave |
|------------|-----------------------------|------|------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|-------|
| ALD-1/1 | Bolita cobre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ALD-1/2 | Corona bolita cobre | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| ALMIZ-13/1 | Bolitas cuprita | 11 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 89 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| ALMIZ-13/2 | Bolita cobre | 0 | 0 | 0 | 0.89 | 0 | 0 | 93.92 | 5.2 | 0 | 0 | 2 |
| ALMIZ-13/3 | Bolita cobre, z. blanca | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.95 | 79.96 | 18.1 | 0 | 0 | 2 |
| CAR11-1 | Inclusiones cuprita | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 90 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR12-1 | Bolitas cobre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR12-2 | Masa cloruro | 0 | 0 | 0 | 0 | 17.7 | 0 | 82.3 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR12-3 | Inclusión blanca | 0 | 0 | 20.99 | 0.46 | 0 | 5.4 | 57.28 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR12-4 | Magnetita | 26 | 0 | 0 | 0 | 0 | 74 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR8-1 | Bolita cobre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4.51 | 85.79 | 9.71 | 0 | 0 | 3 |
| CAR8-2 | Wüstita | 22.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 77.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| CAR8-4 | Magnetita | 27.7 | 0 | 0 | 0 | 0 | 72.3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 |
| LC3-1 | Formación Cu ₂ S | 0 | 0 | 0 | 16.57 | 0 | 0 | 83.43 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC3-2 | Cuprita | 11.5 | 0 | 0 | 0 | 0 | 2.4 | 86.1 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC4-1 | Bolita cobre | 0 | 0 | 0.51 | 0 | 0 | 1.73 | 97.76 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC4-2 | Nódulo gris hierro | 0 | 1.57 | 0.66 | 0 | 0 | 97.16 | 0.61 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| LC5-2 | Puntos blancos | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 11.79 | 0 | 0 | 88.21 | 4 |
| LC6-1 | Magnetita | 27 | 0 | 0 | 0 | 0 | 73 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 |
| PIC-1/1 | Inclusión plata | 0 | 0 | 1.09 | 0.81 | 6.63 | 4.27 | 2.91 | 0 | 82.83 | 0 | 5 |
| PIC-1/3 | Bolita cobre | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5.72 | 94.28 | 0 | 0 | 0 | 5 |

compuestas principalmente por hierro-cobre (¿delafosita?) (CAR-12/5) en una matriz silicatada (CAR-12/6). En esta región se localizan también numerosos puntos blancos ricos en cobre y silicio (CAR-12/3). Se han analizado varias bolitas de cobre prácticamente puro (CAR-12/1). Hay algunas zonas de atacamita o paratacamita debidas a procesos de corrosión (CAR-12/2).

Finalmente, la muestra CAR-8 es la que más aspecto tiene de escoria, aunque todavía retiene entre un 14% y un 21% de óxido de cobre (CAR-8/5 y 6). Una pequeña región de la misma tiene casi composición de escoria wüstítica (CAR-8/5), con exceso de óxido de hierro formando cristales segregados en los que, en realidad, predomina la magnetita (figura 2). La matriz es un vidrio silicatado mezclado con minerales de cobre y arsénico (CAR-8/3). Se han formado bolitas de cobre arsenicado con hasta 9.7% de arsénico (CAR-8/1).

Las escorias de Los Crisoles tienen formas nodulares que alcanzan hasta algo más de 3 cm de espesor, de color verdoso, que a primera vista parecen minerales fundidos sin reducir. Todas tienen en común su poca homogeneidad constitucional.

La muestra LC-3 retiene un 67% de monóxido de cobre según el análisis global LC-3/6 y es pobre en hierro. La mayor parte de este hierro se acumula en ciertas zonas de la matriz. Se aprecian algunos nodulillos de sulfuro de cobre (LC-3/1), aunque los minerales originales parecen ser oxídicos. No se ha formado cobre metálico.

La muestra LC-4 es más rica en hierro (LC-4/6) y, a primera vista, podría haber dado una escoria fayalítica. Pero no es así: la mayor parte de este hierro se encuentra como magnetita distribuida en una matriz de akermanita (LC-4/3). Se han formado algunas bolitas de cobre metálico que retienen algo de hierro y silicio (LC-4/1). Aunque para esta fase cultural no tiene especial relieve, es interesante mencionar que se ha formado un nodulillo microscópico de hierro metálico (LC-4/2).

La muestra LC-5 es cuprita. Contiene inclusiones de bismuto-cobre (LC-5/2).

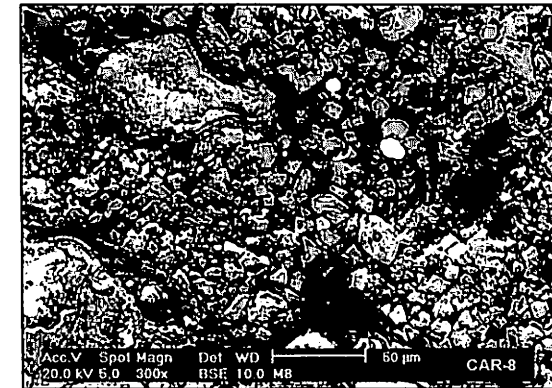


Figura 2. Escoria CAR-8. El campo está sobresaturado de óxido de hierro, principalmente magnetita (cristales grises). Se aprecian algunas bolitas de cobre (color blanco).

La última muestra de Los Crisoles, LC-6, es parecida a la LC-4, aunque en este caso, al apenas contener calcio, no se ha formado una matriz de akermanita sino una mezcla de vidrio ferrosilicatado y mineral de cobre (LC-6/2) en el que se concentra gran número de cristales de magnetita (LC-6/1) y sílice libre (figura 3). No se ha encontrado cobre metálico.

De El Picacho tenemos un nódulo de escoria que retiene un 11% de CuO (PIC-1/5). La matriz, distribuida entre masas de sílice libre, es un vidrio de relleno ferrosilicatado bajo en calcio (PIC-1/2 y 4).

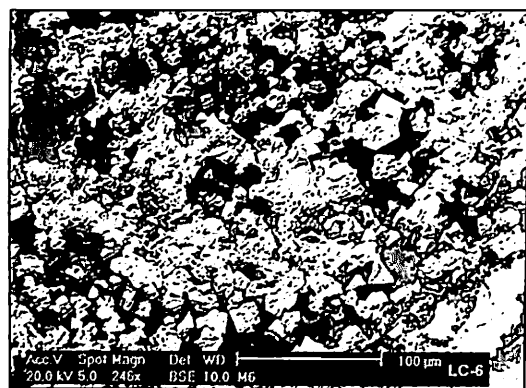


Figura 3. Escoria CL-6. Obsérvese la abundancia de magnetita (cristales blancos), entre la que se distinguen granos negros de sílice libre.

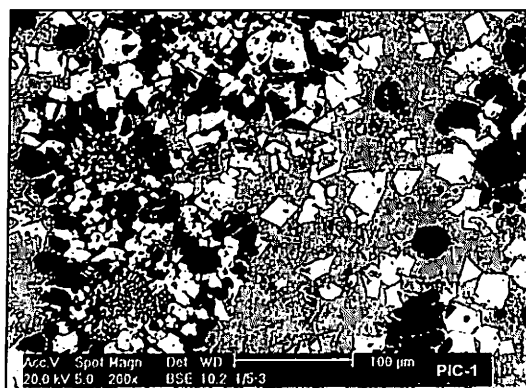


Figura 4. Escoria PIC-1. Cristales de magnetita (blancos), granos de sílice sin reaccionar (negro), en una matriz ferrosilicatada rica en minerales de cobre (gris).

Hay abundantes cristales de magnetita (figura 4). Se han formado bolitas de cobre metálico que disuelven hasta un 5,7% de hierro (PIC-1/3). Otras curiosas inclusiones halladas en esta muestra son las de cloruro de plata (PIC-1/1), probablemente consecuencia de la corrosión de la plata metálica tras los años de enterramiento en el suelo.

4. ESTUDIO COMPARADO Y CONCLUSIONES

Si representamos los análisis globales de estas escorias tras recalcular las composiciones para eliminar los efectos del cobre y otros elementos no estructurales de las mismas, según el diagrama $\text{SiO}_2\text{-CaO-FeO}$, no encontramos con una distribución dispersa de los puntos (figura 5). Más de la mitad de las escorias caen en regiones del diagrama de fases cuyas temperaturas rebasan ampliamente los 1.400°C al ser pobres en hierro, es decir, temperaturas impensables en un horno de fundición prehistórico. Efectivamente, ya hemos visto que todas estas escorias constituyen masas heterogéneas, sólo parcialmente fundidas. A partir de las composiciones globales cabría esperar que ciertas muestras (LC-6/3, CAR-8/5, CAR-12/7, LC-4/6) hubieran formado fayalita (olivino). Sin embargo no ha sido así, como demuestran los análisis estructurales por microscopía, lo que indica que no se alcanzaron las condiciones de equilibrio necesarias. Ningún diagrama de fases se adapta bien a este tipo de materiales, como ya indicaron Hauptmann *et al.* [10].

La presencia sistemática de magnetita, cuprita y probablemente delafosita es un claro indicio de que las condiciones redox en el horno eran sólo ligeramente reductoras [10].

Todo hace pensar que nos hallamos ante un procedimiento metalúrgico rudimentario mediante el que se obtenía cobre directamente de los minerales, sin adición de fundentes, utilizando las sencillas vasijas de reducción de las que hablábamos al principio. Esta tecnología es muy similar a la que regía las primeras fundiciones calcolíticas

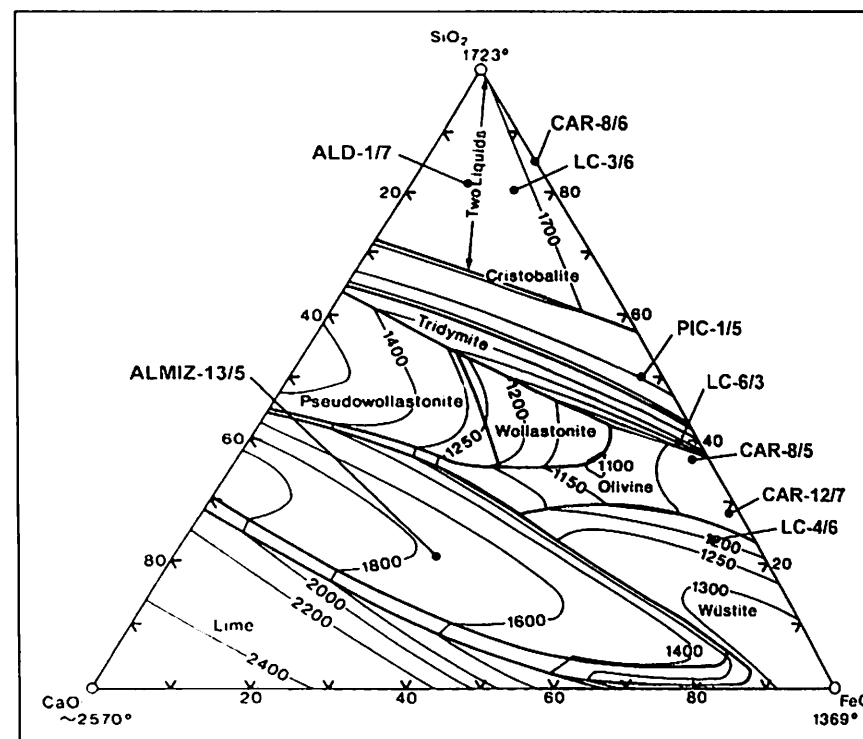


Figura 5. Representación de las escorias calcolíticas en el diagrama de equilibrio de fases.

de Oriente Próximo en la segunda mitad del IV milenio a.C. [14 y 15]. A finales del IV y comienzos del III milenio (Calcolítico Final-Bronce Antiguo) comienza a practicarse en dicha área la verdadera fundición escorificante y aparecen las primeras escorias fayalíticas. Esta observación es de gran importancia para nosotros, pues es otro argumento que refuerza nuestra hipótesis (compartida con otros investigadores) de que la metalurgia del cobre se inició y discurrió largo trecho en la Península Ibérica con total independencia de lo que estaba sucediendo sincrónicamente al otro lado del Mediterráneo, repitiéndose aquí los pasos que se habían dado allí mil años antes, cuanto menos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Rovira, S., 1989, Recientes aportaciones para el conocimiento de la metalurgia primitiva en la provincia de Madrid: Un yacimiento Campaniforme en Perales del Río (Getafe, Madrid). *Actas del XIX Congreso Nacional de Arqueología*. Castellón, 1987, vol. I, 355-366, Zaragoza.
- [2] Rovira, S. y Montero, I., 1994, Metalurgia Campaniforme y de la Edad del Bronce en la Comunidad de Madrid, en *El Horizonte Campaniforme de la Región de Madrid en el Centenario de Ciempozuelos* (ed. Blasco, C.), 137-171, Universidad Autónoma de Madrid. Madrid.
- [3] Gómez Ramos, P., 1999, *Obtención de metales en la Prehistoria de la Península Ibérica*, BAR International Series 753, Archaeopress, Oxford.

- [4] Zwicker, U., Greiner, H., Hofmann, K.H. y Reithinger, M., 1985, Smelting, refining and alloying of copper and copper alloys in crucible-furnaces during prehistoric up to Roman time, en *Furnaces and Smelting Technology in Antiquity* (eds. Craddock, P.T. y Hughes, M.J.), British Museum Occasional Paper No 48, 103-115, Londres.
- [5] Montero, I. y Ruiz Taboada, A., 1996, Enterramiento colectivo y metalurgia en el yacimiento neolítico de Cerro Virtud (Cuevas de Almanzora, Almería), *Trabajos de Prehistoria* 53 (2), 55-75.
- [6] Fernández-Posse, M.D., Montero, I., Sánchez-Palencia, F.J. y Rovira, S., 1993, Espacio y metalurgia en la Cultura Castreña: La zona arqueológica de Las Médulas, *Trabajos de Prehistoria* 50, 197-220.
- [7] Bachmann, H.G., 1982, *The identification of slags from archaeological sites*, Institute of Archaeology, Londres.
- [8] Tylecote, R.F., 1974, Can copper be smelted in a crucible?, *Jour. Historical Metallurgy Society* 8 (1), 54.
- [9] Zwicker, U., 1980, Investigations on the extractive metallurgy of Cu/Sb/As ore and excavated smelting products from Norsum-Tepe (Keban) on the Upper Euphrates (3500-2800 BC), en *Aspects of Early Metallurgy* (ed. Oddy, W.A.), British Museum Occasional Paper 17, 13-26, Londres.
- [10] Hauptmann, A., Bachmann, H.G. y Maddin, R., 1996, Chalcolithic copper smelting: new evidence from excavations at Feinan, Jordan, *Archaeometry 1994, Ankara. The Proceedings of the 29th International Symposium on Archaeometry, Ankara, 9-14 May 1994*, Tübitak, Ankara, 3-10.
- [11] Rovira, S., Montero, I. y Consuegra, S., 1977, *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. I. Análisis de materiales*, Instituto Universitario Ortega y Gasset y Ministerio de Cultura, Madrid.
- [12] Fabián, J.F., 1995, *El aspecto funerario durante el Calcolítico y los inicios de la Edad del Bronce en la Meseta Norte*, Ediciones de la Universidad de Salamanca, Salamanca.
- [13] Castaño, P., Delibes, G., Fernández-Miranda, M., Fernández-Posse, M.D., Mariscal, B., Martín, C., Montero, I. y Rovira, S., 1991, Application des méthodes archéométriques pour l'analyse du Chalcolithique du bassin de Vera (Almería, Espagne), *Revue d'Archéométrie* 15, 47-53.
- [14] Tylecote, R.F., Rothenberg, B. y Lupu, A., 1974, The examination of metallurgical material from the Abu Matar, Israel, *Jour. Historical Metallurgy Society* 8 (1), 32-34.
- [15] Hauptmann, A., 1989, The earliest periods of copper metallurgy in Feinan/Jordan. En *Archäometallurgie der Alten Welt/Old World Archaeometallurgy* (eds. Hauptmann, A., Pernicka, E. y Wagner, G.A.), *Der Anschnitt* 7, 119-135.