

TECNOLOGÍA METALÚRGICA Y CAMBIO CULTURAL EN LA PREHISTORIA DE LA PENÍNSULA IBÉRICA

Salvador ROVIRA

*Conservador Jefe del Departamento de Conservación
Museo Arqueológico Nacional (Madrid)*

Resumen

Aunque la metalurgia suele ser considerada una actividad de gran influencia en los procesos de cambio socio-cultural, este artículo trata de ofrecer nuevas perspectivas acerca del fenómeno por medio de las descripciones de los procedimientos tecnológicos asociados y su evolución a lo largo de la Prehistoria reciente. También se reflexiona sobre las variables a tener en cuenta para ponderar la producción de metal.

Palabras clave: Prehistoria de la Península Ibérica, Metalurgia, Cambio Cultural.

Abstract

Despite metallurgy uses to be considered a largely influencing activity on the processes of social and cultural change, this paper deals with new perspectives on the phenomenon by means of the description of the technological procedures connected with metallurgy and its development through the Late Prehistory. Variables to have into account in order to evaluate metal production are also object of reflection.

Keywords: Prehistory, Metallurgy, Cultural Change.

1. LOS PROCESOS DE CAMBIO

Conforme nos remontamos en el tiempo la información obtenida del registro arqueológico se hace más y más difusa, menos contrastada y contrastable. Si ello es cierto para el registro de las cosas observables en una excavación arqueológica (los restos materiales de un universo cultural “fossilizado” en un determinado paquete de datos presuntamente objetivos) el problema se agudiza cuando, a partir de ese registro material, tratamos de delinear las superestructuras inmateriales que los originaron. Sin embargo, es esa segunda parte de la tarea investigadora, la que conduce a imaginar al ser humano en un contexto social necesariamente complejo, la que verdaderamente importa y la que requiere una mayor inversión de energía en la lucubración.

Detectar un cambio implica determinar una situación previa distinta de la que se está describiendo con la que, por yuxtaposición, contrasta. Los descriptores hablan por sí mismos cuando, por ejemplo, observamos el cambio entre el hábito de los enterramientos colectivos del

Calcolítico pleno y las fosas individuales campaniformes. Las razones de ese cambio, lo que constituye el verdadero meollo del proceso, no tiene descriptores concretos. Algo (importante) ha cambiado pero determinar las variables que han conducido a la modificación de hábitos requiere un amplio despliegue de deducciones con escaso soporte material. Entramos de lleno en el terreno de las hipótesis, de las teorías, dos términos en modo alguno equiparables aunque a veces se confundan: toda teoría ha de partir de ciertas hipótesis y, si está bien construida, ha de tener poder predictivo.

Cualquier cambio delimita un antes y un después y conduce inexorablemente a la consideración del devenir del tiempo, a la concatenación de sucesos enriestrados en esa magnitud deletérea tan difícil de aprehender. Para la Historia es fundamental fijar los sucesos en el tiempo, pero el prehistoriador tropieza con grandes problemas para ello cuando pretende analizar secuencias próximas entre sí porque las técnicas de datación disponibles no proporcionan la precisión suficiente por ahora. Nos vemos obligados, pues, a considerar secuencias de larga duración en las que las cosas (según el registro material) no parecen acusar grandes cambios, y a percibir los cambios a través de períodos de transición que, en el fondo, son la evidencia de nuestro limitado poder de resolución para fijar la cronología calendárica de los sucesos.

La investigación arqueometalúrgica cuenta con tres fuentes básicas de información: el registro arqueológico, el análisis en el laboratorio de materiales arqueometalúrgicos y la replicación experimental. Del registro arqueológico se obtienen los objetos relacionados con los procesos metalúrgicos, cuyo conjunto abarca desde el mineral que serviría para obtener el metal hasta los propios objetos acabados. Estos materiales son sometidos en el laboratorio de análisis a toda una batería de pruebas para determinar su naturaleza, composición química, estructura, etc. con el fin de extraer información sobre los procedimientos físico-químicos que los originaron y su posición en las diferentes cadenas operativas de producción. La replicación experimental permite confirmar si los procesos deducidos de la analítica son realizables en la práctica.

Prácticamente todos los resultados de los análisis metalúrgicos son objetivos. Su interpretación y posterior inserción en las cadenas operativas, sin embargo, están ya sujetas a la subjetividad del investigador. Dentro de la parcela de objetividad es sencillo detectar cambios en la tecnología puesto que la metalurgia, en su conjunto, es el resultado de la aplicación de las leyes universales de la Física y de la Química, y éstas no dependen de la voluntad del metalúrgico. Los resultados analíticos son, pues, habas contadas. Harina de otro costal es insertar dichos cambios en la secuencia temporal histórica debido a la subordinación del material de base a las mismas limitaciones de todo registro arqueológico.

Quedaría otro aspecto teórico por discutir y es si los cambios sociales propician los tecnológicos y/o viceversa. Debo confesar que es un asunto, al menos para mí, difícil de concretar y que conduce, no obstante, a una pregunta crucial: ¿es la evolución de la metalurgia prehistórica un motor de cambio o, por el contrario, es consecuencia del empuje y pujanza de la sociedad, que requiere otras soluciones a nuevas necesidades? Lo más probable es que la respuesta no sea única ni en el tiempo ni en el espacio geográfico y que ambos extremos se hayan venido dando, alternativamente, a lo largo de la Prehistoria.

2. LA METALURGIA EN EL CALCOLÍTICO Y BRONCE ANTIGUO

Tras los resultados de los trabajos de campo en Cerro Virtud (Herrerías, Almería) parece despuntar con visos de certeza que en algún momento del Neolítico del Sureste peninsular comenzaron los primeros intentos de obtener cobre a partir de los minerales cupríferos abun-

dantes en la región y, en particular, de los filones aflorados situados a escasos metros del yacimiento (Ruiz Taboada y Montero, 1999). Es una metalurgia de vasija de reducción, más o menos con las mismas características que la que se registra en los momentos más tempranos de otras áreas hoy consideradas núcleos de invención como el Próximo Oriente o la región balcánica, en las que el suceso tuvo lugar también en pleno Neolítico local.

Los objetos de metal más antiguos conocidos en el mundo, unas pocas cuentas de collar hechas con láminas de cobre enrolladas, punzones y anzuelos de Çayönü Tepesi (Turquía), se remontan a finales del VIII milenio a.C. y se obtuvieron a partir de cobre nativo (Maddin *et al.*, 1991). En este yacimiento hubo al parecer una floreciente industria de producción de adornos con piedras duras, en particular con malaquita y azurita, y no resulta extraño suponer que en el metalotecto cuprífero que proporcionaba dichos minerales hubiera también cobre nativo que aprendieron a trabajar y a aplicarle los primeros tratamientos térmicos de recocido, dando lugar a una fase tecnológica que solemos denominar pre-metalúrgica porque en ella no se practicaba la obtención del metal a partir de sus minerales sino que se recolectaba directamente el cobre existente en la naturaleza. Habrían de transcurrir muchos siglos hasta que la presencia de escorias en la zona evidenciara la instauración de la verdadera metalurgia.

Las fechas de Cerro Virtud, comparadas con las del entorno geográfico extrapeninsular, bastante más tardías, sugieren que la Península pudo ser un núcleo de invención metalúrgica sin conexión con los países del Mediterráneo central ni, desde luego, con los países ribereños de Oriente. Ya antes del descubrimiento de Cerro Virtud, y basándose, entre otros, en los rasgos de primitivismo observados en nuestra metalurgia calcolítica, Montero (1994: 272) había aventurado tal hipótesis, una hipótesis que no era nueva pues ya había sido esgrimida por Renfrew (1967) en un artículo de gran impacto en su momento.

El caldo de cultivo que dio origen a la metalurgia del cobre parece ser la sociedad orientada hacia una creciente y renovada complejidad social del Neolítico pleno, allí donde se han podido detectar los primeros balbuceos de ese nuevo material y su tecnología asociada. Desde el primer momento (así lo indican los objetos de Çayönü y de otros lugares antiguos) el empleo del cobre se encaminó en dos direcciones: hacia la producción de objetos de adorno personal fácilmente calificables de bienes de prestigio, como las cuentas de collar, y de objetos de carácter instrumental, como los punzones y anzuelos, iniciándose así un lento proceso de sustitución de otros materiales que, como el hueso y la piedra, contaban con una larga tradición de producción y consumo.

Conviene hacer hincapié en ese carácter de “elemento sustitutivo”. No es el cobre un material que, en principio, diera lugar a nuevas aplicaciones ni siquiera en el Calcolítico pleno e incluso mucho más tarde. Básicamente se integró en el bloque de necesidades que la sociedad ya tenía resueltas de otro modo y eso explica, por un lado, el sentido utilitario que acompañará siempre a la metalurgia del Viejo Mundo (en América las cosas fueron de otro modo radicalmente distinto), y por otro, la lentitud del proceso de relevo debido a la competencia con otros materiales cuyo empleo contaba con recetas tecnológicas enormemente elaboradas y cuya funcionalidad no se veía, en principio, mejorada por el cobre.

En el estado actual de la investigación, parecen exageradas aquellas apreciaciones de Childe (1979: 144, primera edición de 1936) en el sentido que la introducción de la metalurgia fuera uno de los factores desencadenantes de lo que él llamó “segunda revolución”, la revolución urbana. O si lo fue, fue a muy largo plazo, a mucha distancia de los orígenes. Tampoco me parece apropiada la idea del especialista forjada por ese mismo autor, cuando definió al metalúrgico prehistórico como un operario (itinerante) dedicado a tiempo completo a las labores propias de su especialidad (Childe, 1973: 74; 1978: 119, 169). Sin embargo he de reconocer que tuvieron un fuerte impacto y en gran manera han condicionado hasta nuestros días los

enfoques explicativos de la metalurgia prehistórica, sobre cuyo papel, mucho más modesto en mi opinión, ya hablé en otra ocasión (Rovira, 2002a).

Al contrario de lo que se suele pensar, la obtención de cobre a partir de sus minerales oxidados (cuprita, malaquita, azurita) es un proceso relativamente sencillo. De entre todos los metales de interés “industrial” de la Prehistoria, el cobre es el que necesita menor consumo de energía en unas condiciones termoquímicas fácilmente alcanzables. En esas circunstancias, que dependen exclusivamente de las leyes de la propia Naturaleza, reside el hecho de que haya sido el cobre el primer metal conseguido por el hombre mediante procedimientos pirometalúrgicos. Por eso la primera metalurgia en aquellos lugares en los que se ha podido estudiar con detenimiento mediante análisis de laboratorio es siempre lo que podríamos llamar una “metalurgia de pucheros”, sin verdaderos hornos metalúrgicos (Hauptmann *et al.*, 1996; Rovira y Ambert, 2002).

2.1. LA OBTENCIÓN DE METALES EN EL CALCOLÍTICO Y BRONCE ANTIGUO

Casi todos los sistemas montañosos de la Península contienen mineralizaciones de cobre fácilmente explotables en otros tiempos (Rovira, 2002a: 6-7). De ello se beneficiaron numerosos grupos calcolíticos a lo largo y ancho de nuestra geografía.

Los análisis por difracción de rayos X de minerales hallados en los yacimientos arqueológicos han identificado las siguientes especies cupríferas: malaquita, azurita, olivenita, pseudomalaquita, conicalcita, tenorita y calcosina entre las más frecuentes (Rovira, 2002b: 86).

De la lista se deduce que los primeros metalúrgicos utilizaban preferentemente menas oxidadas, en ocasiones asociadas de forma natural a sulfuros metálicos (calcosina y otros). Estos minerales, dada su naturaleza secundaria, debían proceder de las capas más externas, lixiviadas, de las mineralizaciones, lejos de los depósitos primarios de sulfuros habitualmente situados a mayor profundidad. Sugieren, pues, una minería superficial, probablemente en pequeñas cortas a cielo abierto que apenas arañaban la parte externa de los metalotectos, cuyas huellas se han perdido sepultadas o comidas por los avances de la minería intensiva de tiempos modernos.

El modelo de la minería calcolítica hispánica, más supuesto que contrastado por las evidencias, parece distinto del que se observa en otros países europeos en los que los recursos cupríferos se hallan más concentrados y algunos de ellos fueron explotados en su totalidad antiguamente, quedando intactos los trabajos mineros tras su abandono. Así, las minas de Aï Bunar (Bulgaria) y Rudna Glava (antigua Yugoslavia), agotadas ya en el Calcolítico, nos han dejado excelentes ejemplos de pozos y galerías excavadas por los mineros prehistóricos (Chernykh, 1978). También las minas de Mount Gabriel en Irlanda son un buen ejemplo de minería prehistórica (O'Brien, 1994). En Iberia es probable que no fueran necesarios tales trabajos en profundidad porque los numerosos depósitos aflorados aportaban con creces la cantidad necesaria de mineral para cubrir las demandas de metal. Pero si hubiera sido preciso profundizar en la roca hubieran sabido cómo hacerlo, como demuestran las excelentes minas neolíticas de variscita de Can Tintorer en Tarragona (Villalba *et al.*, 1986). También los trabajos mineros del Bronce Antiguo en las montañas astur-leonesas son buena prueba de ello (de Blas, 1989). Pero exceptuando estos últimos casos, todo parece indicar que la minería prehistórica en España no requirió de estructuras organizativas complejas ni tampoco la diseminación de los recursos metalíferos facilitaba o propiciaba, por su abundancia espacial, el control de los mismos.

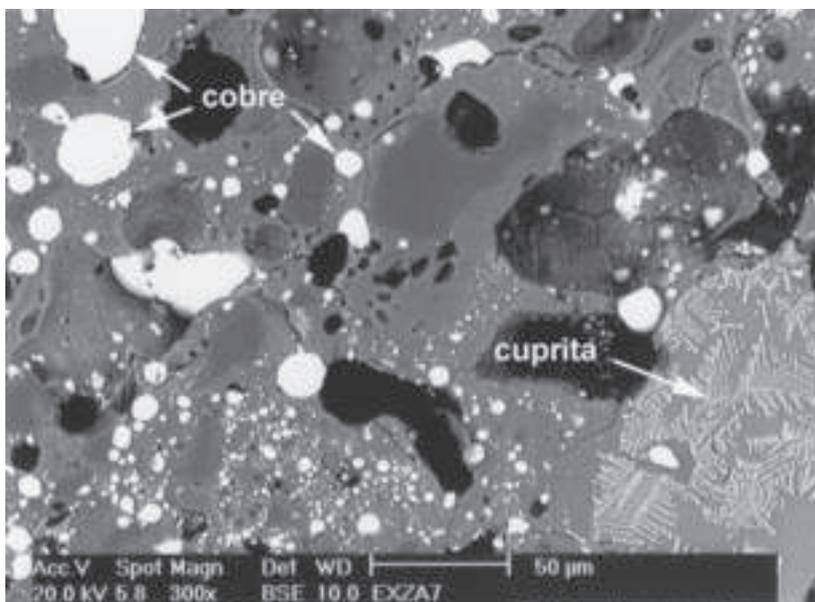
Entre la colección de muestras obtenidas en Almazaraque (Cuevas del Almanzora, Almería) tras las últimas excavaciones dirigidas por Germán Delibes a finales de los años 70, que en su momento tuve ocasión de estudiar, había bolsadas de mineral machacado en pequeñas porciones

(2-3 mm) mezclado con carbón. Esa parece ser la manera habitual de preparar el mineral antes de la operación de reducción. Shalev *et al.* (2003) realizaron un experimento de fundición en una vasija usando cuprita muy pura recogida en un yacimiento calcolítico de Israel, al que tuve ocasión de asistir. El crisol con la cuprita machacada, de 4 o 5 cm de profundidad y unos 15 cm de diámetro, se situó sobre brasas de carbón y fue cubierto totalmente con más carbón que, al poco tiempo, ardía vivamente ayudado por los chorros de aire de dos toberas accionadas por fuelles de cuero. Las toberas estaban situadas de manera que la corriente de aire incidiera alternativamente, de modo rasante, sobre la boca del crisol, constantemente cubierta por una capa de ocho o diez cm de carbón ardiente. Al cabo de unas tres horas de operación el crisol contenía un caldo de cobre fundido que fue vertido en un molde monovalvo para obtener un hacha plana de unos 200 g de peso. Prácticamente no se produjo escoria en el proceso: apenas unas pequeñas costras adheridas a la pared del crisol.

Este experimento es muy ilustrativo del funcionamiento de una vasija de reducción calcolítica y nos explica un hecho muy llamativo: la escasez de escorias en los yacimientos de este período. Cuando se usan minerales muy puros no hay apenas producción de escoria. Los materiales resultantes son el metal y, en ocasiones, porciones de mineral que no ha llegado a reducirse completamente y que suele contener bolitas de cobre en formación. La figura 1 muestra una escoria experimental obtenida en un horno de diseño primitivo (Rovira y Gutiérrez, 2003).

Los análisis de varias muestras de mineral recogido en contexto arqueológico indican precisamente que son especies con poca ganga (Rovira, 2002b: 94, tab. 4), pero si la hubiera, después de machacadas se podría eliminar la mayor parte por selección a mano dada su diferencia de color. Aun así, algún nódulo o masa de apariencia escoriácea se forma.

FIGURA 1
 ESCORIA EXPERIMENTAL DE COBRE VISTA
 EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO.
 LAS MASAS Y BOLITAS BLANCAS SON COBRE METÁLICO.

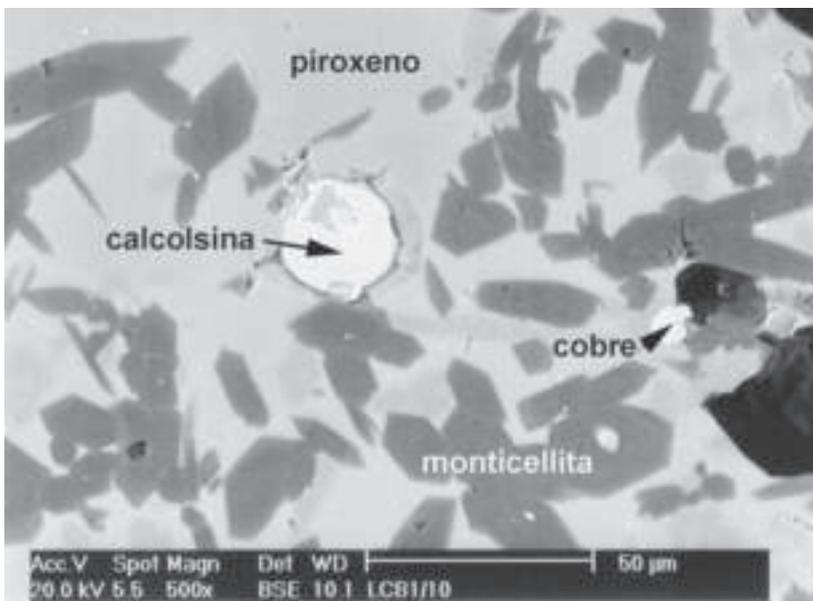


Los estudios analíticos de estas escorias son muy recientes y a partir de ellos conocemos con gran precisión las condiciones de trabajo en las que tiene lugar la reducción del mineral (Rovira, 2002b; Sáez *et al.*, 2003) en las que, por mor de la brevedad, no voy a entrar aquí con detalle. La composición mineralógica y la disposición de sus fases en estas escorias son muy heterogéneas. En realidad tienen poco que ver con las típicas escorias fayalíticas producidas en los procesos intencionados de escorificación mediante la adición de fundentes para mejorar el rendimiento en metal de la reducción. Suelen ser escorias ricas en sílice en las que no siempre todos los materiales han llegado a fundir. En los fundidos predominan componentes tales como piroxeno, akermanita, anortita, melilita, monticellita y otros silicatos complejos. Se forman por reacción a alta temperatura entre los componentes de la ganga, de las cenizas y de los compuestos silicatados del entorno. Raramente se forma fayalita. La figura 2 muestra un ejemplo de la estructura compleja de estas escorias.

Debido a que son silicatos de alto punto de fusión, constituyen una escoria muy viscosa que impide o dificulta la separación de las gotas de cobre que se van formando en su seno. Como, además, suele retener bastante mineral sin reducir, es muy probable que fuera molida por los antiguos metalúrgicos para separarles el metal y reaprovecharan el polvo resultante para añadirlo a mineral fresco en una nueva fundición. Esta parece ser la forma de aprovechamiento de las escorias calcolíticas, lo que contribuiría a mermar la cantidad global de escoria remanente a lo largo del tiempo pero, a su vez, como contiene silicatos, ocasionaría la formación de más escoria en las fundiciones sucesivas aunque en las nuevas

FIGURA 2

SECCIÓN DE UNA ESCORIA CALCOLÍTICA VISTA EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO. ESTÁ FORMADA POR UNA MATRIZ DE PIROXENO CON CRISTALIZACIONES DE MONTICELLITA. SE APRECIA UN NÓDULO DE CALCOSINA Y UNA BOLITA DE COBRE METÁLICO.



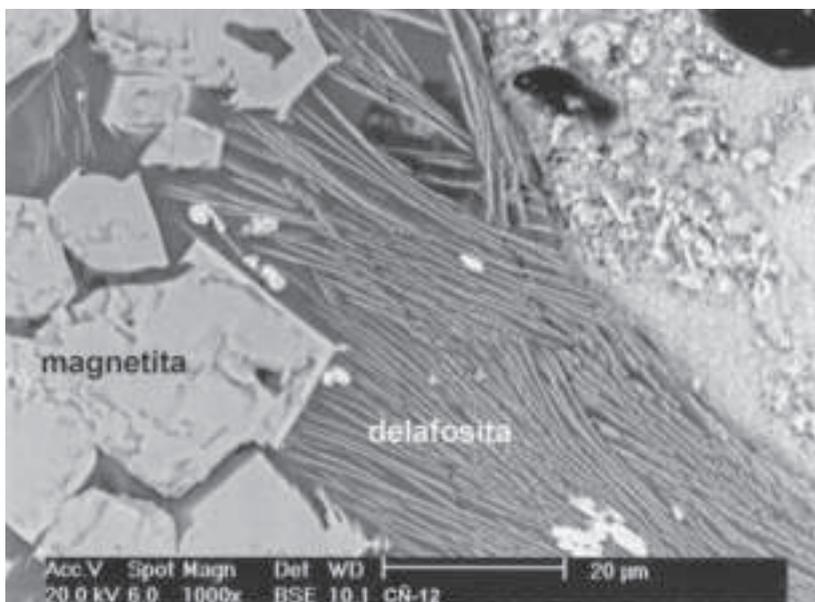
cargas predominase el mineral puro. Las evidencias arqueológicas apuntan hacia una cadena operativa de ese tipo.

Un compuesto hallado frecuentemente en estas escorias primitivas cuando hay hierro en la ganga es la delafosita, un óxido de hierro y cobre que se identifica fácilmente al microscopio por su morfología en laminillas o agujas (Fig. 3). La delafosita tiene un ambiente de formación muy concreto: necesita una atmósfera oxidante para transformar el hierro divalente en trivalente a una temperatura del orden de 1.100 °C. Ello nos da dos pistas importantes: que la temperatura en el hogar superaba en bastantes momentos los 1.100 °C y que la atmósfera no era estrictamente reductora siempre. Un ambiente con estas características es el propio de una estructura de fuego abierta como la vasija de reducción, con aporte de oxígeno en exceso (ventilación forzada). Trabajos experimentales demuestran que, cuando se está inyectando aire al sistema, la temperatura supera incluso los 1.200 °C (color blanco amarillento en las brasas), descendiendo rápidamente hasta los 800 °C (color rojo anaranjado) cuando cesa el chorro de aire. Este efecto pulsante lo produce el accionamiento del fuelle: eleva la temperatura mientras expulsa el aire y la hace caer de modo drástico mientras se llena. En la primera fase el ambiente es netamente oxidante y se puede formar delafosita y en la segunda es reductor y el óxido se convierte en cobre metálico. La situación es la misma cuando se sopla a pulmón a través de un tubo.

Otro compuesto que es un claro indicador de condiciones oxidantes en el seno de la vasija de reducción es la magnetita o, más genéricamente, los óxidos de hierro trivalente, cuya presencia es también frecuente en las escorias calcolíticas (véase la Fig. 3).

Las escorias formadas por reacción de los minerales con la pared de la vasija son muy parecidas a las ya comentadas.

FIGURA 3
DETALLE DE UNA FORMACIÓN DE DELAFOSITA Y MAGNETITA
EN LA CAPA DE ESCORIA DE UNA VASIJA DE REDUCCIÓN.
IMAGEN VISTA EN EL MICROSCOPIO ELECTRÓNICO DE BARRIDO.



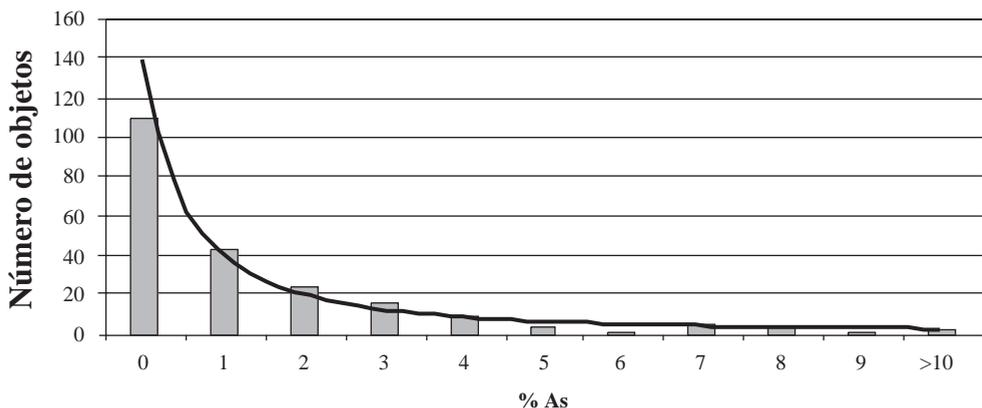
2.2. LAS ALEACIONES DE LOS OBJETOS DE METAL CALCOLÍTICOS Y DEL BRONCE ANTIGUO

Los objetos de metal de estos períodos se agrupan en unos pocos tipos básicos: punzones, hacha planas, cuchillos o puñales, puntas de flecha, alabardas y algunos otros objetos de adorno o de función indeterminada. El metal rey es el cobre, acompañado de ciertas impurezas entre las que cabe destacar el arsénico.

Durante mucho tiempo se ha creído que los cobres arsenicados constituían un paso adelante en la cadena del progreso tecnológico hacia las aleaciones con mejores prestaciones mecánicas, cadena que se iniciaría con el cobre más o menos puro, seguiría con el cobre arsenicado (o bronce arsenical, como también se le llama), con el bronce al estaño, etc. Avalaba esa suposición el hecho de que el arsénico tiene sobre el cobre un efecto similar al del estaño, haciendo que la aleación cobre-arsénico tenga mejores cualidades de dureza y tenacidad que el cobre puro. Esto, que es verdad, requiere no obstante ciertas matizaciones. La mejora real de las propiedades comienza a percibirse, como con el estaño, cuando el porcentaje de aleado supera el 3-4% en peso. Y, como se verá más adelante (en la Fig. 4), los objetos con altos contenidos de arsénico son franca minoría entre los centenares de piezas analizadas que ya conocemos. Tampoco se observa en yacimientos con una larga secuencia estratigráfica, como Almizaraque, que los materiales más antiguos sean menos arsenicados que los más modernos. Alguien podría argüir que cuando se inicia el poblamiento de Almizaraque o de Los Millares, a comienzos del III milenio a.C. en fechas calibradas, ya había comenzado la fase de los cobres arsenicados. Pero argüir no es demostrar, y yo no conozco, ni dentro ni fuera de la Península, ningún yacimiento que presente una fase claramente metalúrgica sin y con cobres arsenicados. Tampoco conozco ningún trabajo en el que se demuestre desde la evidencia arqueológica la adición de arsénico al cobre, cosa que sí sucede en el caso del estaño, un tema, el del bronce típico, que desarrollaré más adelante.

La teoría de la intencionalidad de los cobres arsenicales es casi tan vieja como la detección de su existencia. Pero fueron trabajos como los de Charles (1967 y 1980) los que la asentaron con firmeza. El fallo de la teoría reside, entre otros puntos flacos, en que se elaboró sin tener en cuenta la naturaleza y composición de los metalotectos cupríferos cercanos a los yacimientos,

FIGURA 4
CONTENIDO DE ARSÉNICO EN LOS OBJETOS DE COBRE DE LA CULTURA DE LOS MILLARES.



y en eso, es de justicia decirlo, fuimos de los primeros en hacer saltar la alarma e iniciar la polémica en los foros arqueometalúrgicos, con sendos artículos surgidos a partir de los estudios de Almizaraque (Delibes *et al.*, 1989 y 1991). De todos modos, ya el propio Charles (1985) había iniciado un cierto cambio de posición al reconocer el posible valor determinativo de la mineralogía en el metal obtenido, al menos en un primer momento de la metalurgia, algo que a mí me pareció de cajón cuando terminé la serie de análisis de los materiales de Almizaraque, allá por 1984. Otro autor de enorme peso en Arqueometalurgia, Ronald F. Tylecote, acérrimo defensor de la intencionalidad de los cobres arsenicados, comenzaba también a virar al admitir que los cobres con hasta un 2% de arsénico (lo que incluye a la mayoría de objetos, según los datos analíticos disponibles) podían ser de origen natural (Tylecote, 1991: 217).

Los minerales hallados en Almizaraque, casi todos, contienen cantidades variables de arsénico; asimismo, los objetos de metal del poblado, no todos, contienen también cantidades variables de arsénico. La relación entre ambos conjuntos de materiales era evidente. Lo que había que encontrar era en qué consistía esa relación, dando por supuesto que el metal de los objetos procedía de minerales de ese tipo.

Para ello aplicamos las pruebas estadísticas pertinentes con las que establecer un modelo de las transformaciones acaecidas en el paso de mineral a metal y el resultado fue tan sorprendente como esperado: el arsénico se comportaba de manera similar a lo observado en ciertos experimentos de fundición de plena garantía (Tylecote *et al.*, 1977) o, lo que es lo mismo, los porcentajes de arsénico en los objetos eran los que cabría esperar tras un proceso natural de transformación del mineral en metal, sin que se pudiera apreciar la intervención humana para aumentar las tasas medias de arsénico. Los cálculos detallados pueden consultarse en Delibes *et al.* (1989: 86-88).

Otra confirmación en ese sentido, también de orden estadístico, se obtiene cuando se estudia la función matemática que rige el histograma de las concentraciones de arsénico de los objetos calcolíticos del Sureste, de los cuales disponemos de un buen número de análisis (Rovira *et al.*, 1997). Dicha función, representada en la figura 4, traduce un fenómeno natural que sigue una ley constante a lo largo de todo su recorrido. Si hubiera habido alguna intervención voluntaria en el tramo de las tasas altas de arsénico, habría anomalías en el ajuste general de dicha función.

Si, a partir de los estudios de Almizaraque, tengo muy claro que los cobres arsenicados no son un producto intencionado del metalúrgico, también veo con claridad que tales cobres muy arsenicados tienen realmente mejores prestaciones mecánicas que los menos arsenicados y que pueden distinguirse fácilmente unos de otros, dentro de ciertos límites, por su color, más amarillento en unos y más cobrizo en los otros. Así, pues, el metalúrgico, una vez obtenido el metal (este matiz es importante), podía percibir por su color, dentro de un cierto margen de percepción, diferencias de calidad *a posteriori*. Alguien podría pensar que, si era capaz de percibir diferencias *a posteriori* en el metal, también podía remontar el proceso hasta sus orígenes y seleccionar los minerales, pero eso no parece tan fácil en la práctica. Los responsables de la presencia de arsénico son ciertos minerales como la olivenita y la conicalcita, generalmente asociados a la malaquita constituyendo un mineral polimetálico y que, como ésta, son también de colores verdes llamativos. Ésa ya es una razón de peso que dificultaría poder seleccionar los minerales de cobre, a ojo, por su contenido de arsénico. Otra, no menos importante, tiene que ver con la poca homogeneidad de los resultados de las fundiciones, debida al escaso control del metalúrgico sobre las condiciones termoquímicas del proceso de reducción, que se traducen en pérdidas incontrolables de arsénico en los humos (el característico olor a ajo de las fundiciones de estos minerales). Tras el análisis minucioso por microscopía electrónica de barrido de las inclusiones metálicas en las escorias de estos períodos, es decir, de la composición del

cobre que se está formando, se llega a la conclusión de que los contenidos de arsénico son muy variables dentro de una misma escoria, consecuencia de esa falta de control antes aludida (véase Rovira, 2002b: 97-98, tab. 10). También se ha dicho (p. ej. Charles, 1980: 168-169) que se podía agregar a los minerales de partidas otros minerales arsenicados como arsenopirita, rejalgar, oropimente y otros. Pero eso no deja de ser un *desideratum* nunca demostrado por las evidencias arqueológicas ni en España ni fuera de nuestras fronteras, que se sepa. Finalmente, se podría pensar que, aunque no pudiera el fundidor distinguir los minerales, sí podía saber de qué mina salía el tipo de mineral adecuado para obtener cobre arsenicado. La reflexión es pertinente pero la constatación sobre el terreno de las evidencias imposible. Mejor dicho, lo que las evidencias sugieren, según la explicación de la figura 4, es que no hay una búsqueda intencionada o selectiva de los minerales más arsenicados.

Sin embargo, ante la realidad de los cobres arsenicados, una pregunta se planteaba inmediatamente: ¿aplicó el fundidor prehistórico esos posibles conocimientos empíricos a mejorar la funcionalidad de los objetos que fabricaba? A ella traté de dar respuesta en un trabajo sobre la metalurgia Campaniforme española (Rovira, 1998). Unos años antes, Budd (1992) había encontrado ciertos contrastes en la manera de trabajar las aleaciones arsenicadas que daban pie a pensar que los metalúrgicos prehistóricos no conocían con precisión el material que tenían entre manos, lo cual chocaba frontalmente con la pretendida intencionalidad de su producción. Mi impresión, configurada a partir de las observaciones estadísticas y los estudios metalográficos, es que no se define claramente una relación estrecha entre los contenidos medios de arsénico y la función que proponemos para los tipos instrumentales. Vistas las series de análisis en su conjunto aprecié diferencias regionales; pero me temo que tales diferencias se deben más a las variaciones medias globales de los propios metalotectos cupríferos locales que a otras razones. Aunque nuestros conocimientos analíticos de los metalotectos peninsulares son todavía bastante incompletos, sí se puede constatar ya que los conjuntos de muestras recogidas en minas del Sistema Central (Blasco y Rovira, 1992-93; Delibes *et al.*, 1996), Montes de Toledo (Montero *et al.*, 1990) y Sureste (Montero, 1994) difieren notablemente en sus contenidos medios y extremos de arsénico, lo que, teniendo en cuenta la importancia determinante de las materias primas, debió influir en el cobre extraído de los minerales de dichas áreas.

Hay, sin embargo, un hecho que se viene constatando desde hace mucho tiempo, del que se han percatado muchos autores y que se viene utilizando como argumento de apoyo, tanto para defender la introducción voluntaria de arsénico en el cobre como para explicar la especificidad en el uso de determinadas aleaciones para aplicaciones concretas. Se puede comprobar que, por término medio, el metal de los cuchillos o puñales y las alabardas contiene más arsénico que el del resto de objetos calcolíticos. Pero extraer de tal hecho conclusiones de tanto alcance me parece una forma excesivamente simplista de aproximarse al problema.

En primer lugar hay que decir que en el conjunto formado por esos tipos específicos encontramos muchos casos, demasiados, en los que el metal es cobre casi puro o con pequeñas impurezas de arsénico (Rovira, 1998: 117, tab. 1). Son tantas las excepciones que yo me hubiera preguntado por qué en unos casos se usó cobre arsenicado y en otros no, y hubiera tratado de encontrar una respuesta que explicara las excepciones y validara la hipótesis que se pretende defender, bastante malparada después de esta simple observación.

En segundo lugar, y analizado el asunto desde una perspectiva regional, resulta que no en todas partes se obtienen los mismos valores para las tasas medias de arsénico. La explicación más probable es de nuevo la naturaleza cambiante de los metalotectos de los que se extrajo el metal en las distintas regiones, porque no me parece apropiado suponer que los metalúrgicos de unas y otras regiones tuvieran ideas distintas sobre lo que presuntamente debía ser el cobre arsenicado y sus aplicaciones.

No obstante, queda todavía sin explicar aquí por qué, con independencia de peculiaridades regionales, los puñales y cuchillos son, por término medio, más arsenicados que el resto de objetos metálicos coetáneos de su misma área. La explicación, desde mi punto de vista, no tiene nada que ver con cuestiones tecnológicas sino con aspectos o variables económicas y sociales de la población calcolítica y del Bronce Antiguo, que trataré de esbozar a continuación.

Aunque el tema pudiera parecer colateral, creo que está en el centro de la posible discusión que pueda suscitarse. Me refiero al reciclado de metal, a la refundición de objetos rotos o desfuncionalizados, dentro del conjunto de metal circulante. Aunque no creo que exista modo alguno de certificar hoy de modo fehaciente el grado de reciclado del cobre en una determinada región en la Prehistoria, mi hipótesis es que, como ocurre en la actualidad, este metal era sistemáticamente reciclado. En buena lógica, el grado de reciclado debía ser tanto más intenso cuanto más escasos fueran los recursos de metal nuevo disponibles; pero tampoco encuentro una contrastación arqueológica para esta suposición, al menos en la Península Ibérica, dada la inexistencia de acumulaciones u ocultaciones de objetos de metal reciclable en el Calcolítico y Bronce Antiguo que pudieran servirnos de estimadores. Aun así, seguiré adelante con mis razonamientos.

Cuando un objeto de cobre se refunde, el metal se purifica o refina. Hay determinados elementos químicos que acompañan al cobre como impurezas que, durante el proceso de calentamiento para propiciar el cambio de estado, son eliminados parcialmente, bien formando escoria de crisol, bien en los humos. Un elemento particularmente sensible a las altas temperaturas es el arsénico, que sublima (se convierte en gas) a partir de temperaturas algo superiores a los 500 °C (el cobre funde a 1093 °C). Estudios experimentales demuestran que la pérdida de arsénico en una refundición es del orden del 50% (McKerrell y Tylecote, 1972; Tylecote *et al.*, 1977). Como consecuencia, tras cada refundición de un cobre arsenicado hay notables pérdidas de arsénico, pérdidas que van disminuyendo hasta que la concentración se estabiliza en unas pocas décimas por ciento. También los tratamientos térmicos de recristalización del metal, bastante frecuentes en estos períodos, ocasionan mermas de este elemento tan volátil.

En buena lógica, la pérdida de arsénico afectaría en mayor medida a los objetos reciclados que formaban parte del cobre circulante, es decir, a los poseídos por las gentes en vida y que encontramos en los contextos de habitación. En cambio los objetos de cobre de los ajuares de los muertos, tras el deceso de su poseedor eran apartados de la circulación y enterrados con su dueño. Por lo tanto dejaban de formar parte del metal circulante y no se verían afectados en lo sucesivo por el reciclado, a partir del momento de su enterramiento. Y esos son los que encuentra el arqueólogo como hallazgos cerrados. Porque del metal circulante en un momento dado en los contextos de habitación sólo encontramos una mínima parte (extravíos, olvidos, abandonos precipitados), ya que los moradores vivos tienen controladas constantemente sus pertenencias, como hacemos nosotros, y les siguen a lo largo de los sucesivos ciclos vitales.

Como es sabido, un elevado porcentaje de los puñales y alabardas encontrados por el arqueólogo proceden de sepulturas de inhumación, siendo esa circunstancia de raíz cultural, no tecnológica, la razón principal por la que, a mi modo de ver, observamos en términos estadísticos mayores tasas de arsénico en esos objetos apartados del régimen general de reciclado, cualquiera que éste fuese.

2.3. LAS CADENAS OPERATIVAS APLICADAS AL TRABAJO DEL METAL

El metalúrgico prehistórico aprendió pronto las virtudes del fuego (en realidad del calor) aplicadas al trabajo del metal. Como demuestran los objetos de metal más antiguos, mucho

antes de que fuera capaz de fundir el cobre, y por tanto de producir objetos por moldeo, ya sabía que suministrándole un calor intenso entre las brasas de una hoguera durante mucho tiempo, algo le sucedía que hacía que perdiera acritud y resultara más fácilmente deformable sin romperse cuando, una vez frío, lo martilleaba para conformarlo. Había descubierto las bondades del recocido térmico, que se deben a que, por efecto del calor, se produce la recristalización en sólido de la masa metálica, ganando en homogeneidad y haciéndose más maleable. Porque, cuando el cobre es trabajado a martillo, los efectos de los golpes rompen la microestructura cristalina del metal al deformarlo, aumentando su dureza pero haciéndolo más quebradizo, hasta el punto de que si se supera el límite de resistencia se rompe. En cambio, si después de una tanda de golpes se recuece, recupera la capacidad de ser deformado de nuevo.

Los estudios metalográficos de los objetos de estos períodos (Rovira y Gómez Ramos, 2003) demuestran que las recetas empleadas por el metalario son limitadas y se reducen a:

1. Fundición (F). El objeto, después de sacado del molde, no recibía ningún otro tratamiento mecánico o térmico que afectara a su microestructura.
2. Fundición seguida de forja en frío (F+FF). Después de sacada del molde la pieza era martilleada en frío, bien toda ella, bien selectivamente en ciertas zonas, como por ejemplo los filos cortantes de las hachas o los cuchillos.
3. Fundición seguida de recocido (F+R). Una vez obtenida la pieza, se sometía a la acción del calor para homogeneizar la microestructura, sin aplicarle ningún tratamiento mecánico deformante.
4. Fundición seguida de forja en frío y de recocido (F+FF+R).
5. Fundición seguida de recocido y de forja en frío (F+R+FF).
6. Fundición seguida de forja en frío, de recocido y de nueva forja en frío (F+FF+R+FF).

Cada una de estas cadenas operativas produce una microestructura peculiar en el metal que se reconoce mediante técnicas metalográficas. La figura 5 muestra las microestructuras básicas, de las que se dan múltiples variantes.

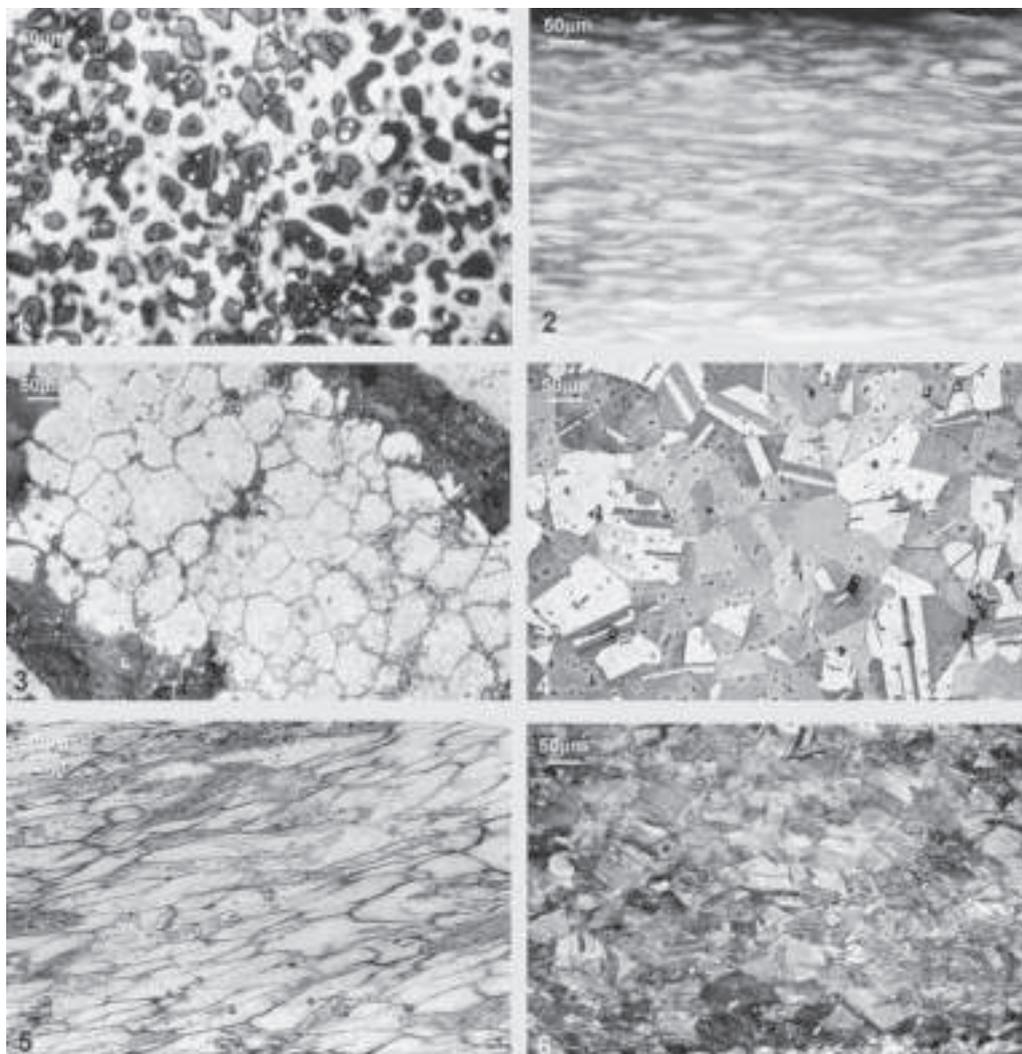
En función de los objetos metalografiados de estos períodos a lo largo del desarrollo del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica comenzamos a tener una imagen cuantitativa y cualitativa de los hábitos de taller del metalúrgico (Rovira y Gómez Ramos, 2003: 159-174). Las cadenas 1, 2, 4 y 6 ya se encuentran plenamente desarrolladas en el Calcolítico, con un claro predominio de la número 2, es decir de la aplicación de forja en frío a los objetos obtenidos por moldeo. La número 6, la más compleja, comienza a ser utilizada aunque, según los datos disponibles, su frecuencia de uso no alcanza todavía el 10% de las piezas metalografiadas.

En el Bronce Antiguo se aprecian ligeros cambios, aunque la tradición calcolítica del trabajo del metal será la predominante. Estos cambios se cifran principalmente en una pequeña disminución del porcentaje de piezas fabricadas con la cadena 2 en favor de la 6, que duplicará su presencia a lo largo del período hasta alcanzar valores en torno al 18%. La figura 6 resume gráficamente estos aspectos.

2.4. CAMPANIFORME Y METALURGIA

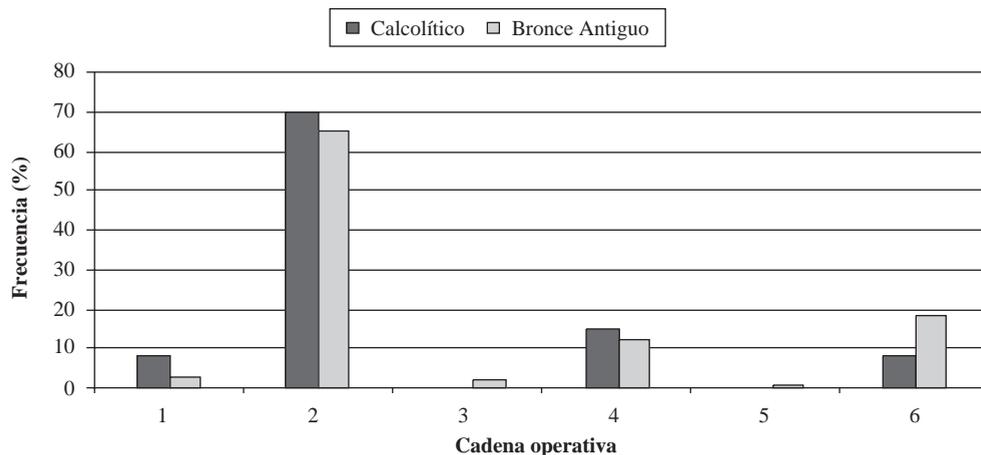
Yo no estoy muy convencido de que la “llegada” de una nueva ideología asociada al fenómeno Campaniforme trajera aparejados avances significativos en la tecnología del metal

FIGURA 5
SERIE DE MICROESTRUCTURAS METALGRÁFICAS BÁSICAS
CORRESPONDIENTES A LAS SEIS CADENAS OPERATIVAS DESCRITAS
EN EL TEXTO. IMÁGENES TOMADAS EN EL MICROSCOPIO ÓPTICO.



en nuestras tierras. En más de una ocasión se ha hablado de que con el Campaniforme tiene lugar la gran expansión de los conocimientos metalúrgicos y un aumento de la importancia económica y social de la producción de metal. A mi modo de ver, los conocimientos cambian poco pero sí es cierto que hubo una evidente expansión achacable más a un incremento de la población y quizás a un cambio de modelo de ocupación del territorio que a otras razones (si es que el registro arqueológico es representativo y fiable): no hay duda de que conocemos más yacimientos campaniformes que calcolíticos puros, aunque también es cierto que una

FIGURA 6
 FRECUENCIA DE USO DE LAS DISTINTAS CADENAS OPERATIVAS
 EN LA PRODUCCIÓN DE OBJETOS DE COBRE CALCOLÍTICOS
 Y DEL BRONCE ANTIGUO. 1 FUNDICIÓN; 2 FUNDICIÓN+FORJA EN FRÍO;
 3 FUNDICIÓN+RECOCIDO; 4 FUNDICIÓN+FORJA EN FRÍO+RECOCIDO;
 5 FUNDICIÓN+RECOCIDO+FORJA EN FRÍO; 6 FUNDICIÓN+FORJA
 EN FRÍO+RECOCIDO+FORJA EN FRÍO.



buena parte de ellos arrancan de un Calcolítico sin las características cerámicas decoradas al estilo campaniforme.

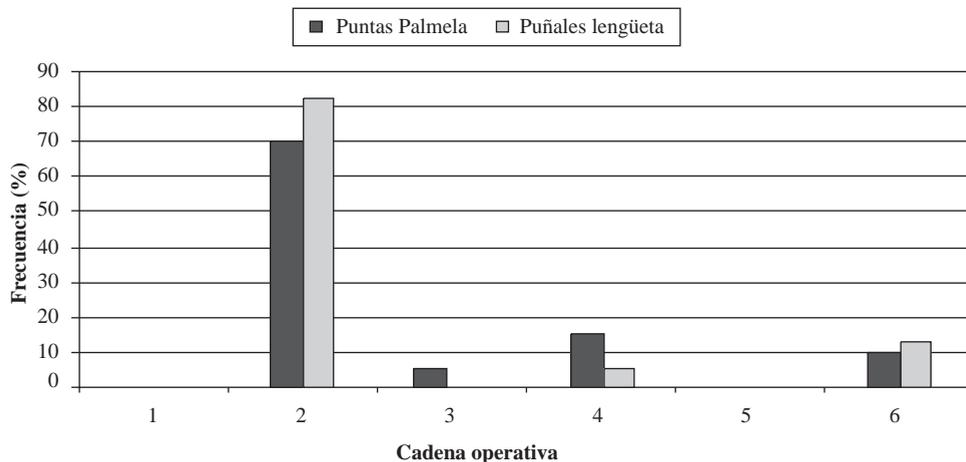
La manera de obtener el cobre siguió siendo la vasija de reducción, y ya son bastantes los ejemplos conocidos de crisoles y vasijas con decoración campaniforme dedicados a menesteres metalúrgicos como los de Rillo de Gallo (Guadalajara) (Balbín *et al.*, 1990), El Ventorro (Madrid) (Rovira y Montero, 1994), Son Matge (Mallorca) (Waldren, 1986) y la Bauma del Serrat del Pont (Gerona) (Alcalde *et al.*, 1997). El repertorio de objetos de cobre tampoco cambia demasiado, aunque asistimos a cierta estandarización de tipos como las puntas de Palmela y los puñales de lengüeta. Son precisamente estos dos objetos peculiares los que nos pueden mostrar si han habido cambios en las recetas de taller y, por los datos disponibles tomados de Rovira y Gómez Ramos (2003: 169-170), no parece que se pueda hablar de nuevas fórmulas. En la figura 7 puede apreciarse que las cadenas operativas más frecuentadas son las mismas que corresponden al Calcolítico y al Bronce Antiguo, como no podía ser de otro modo ya que el Horizonte Campaniforme se superpone a parte de ambos períodos.

Es muy probable, sin embargo, que fuera en algún momento de la vigencia del Campaniforme cuando se introdujo en la Península la tecnología de las aleaciones cobre-estaño, es decir los bronce verdaderos. Pero este punto resulta bastante nebuloso porque la información arqueológica y analítica todavía es escasa. A finales del Calcolítico o inicios del Bronce se detectan los primeros objetos fabricados con este nuevo metal.

Un punzón de bronce de Guidoiro Areoso (Vilanova de Arousa, Pontevedra) está asociado a una fecha radiocarbónica de 4020 ± 40 BP (GrN-16108) (Comendador, 1998: 84) que, calibrada a 2 sigma, da una horquilla de mayor probabilidad entre 2620 y 2460 a.C. Éste es, no obstante, un *unicum* en la zona por el momento, probablemente importado de las Islas Británicas con las que, desde hace tiempo, se vienen reivindicando relaciones muy tempranas para el

FIGURA 7

FRECUENCIA DE USO DE LAS DISTINTAS CADENAS OPERATIVAS EN LA PRODUCCIÓN DE PUNTAS DE PALMELA Y PUÑALES DE LENGÜETA. 1 FUNDICIÓN; 2 FUNDICIÓN+FORJA EN FRÍO; 3 FUNDICIÓN+RECOCIDO; 4 FUNDICIÓN+FORJA EN FRÍO+RECOCIDO; 5 FUNDICIÓN+RECOCIDO+FORJA EN FRÍO; 6 FUNDICIÓN+FORJA EN FRÍO+RECOCIDO+FORJA EN FRÍO.



Noroeste peninsular (Harrison, 1974). El problema es que el único bronce inglés bien fechado, un punzón de Dorchester-on-Thames (Oxfordshire) tiene una antigüedad de 3690 ± 130 BP (BM2167r) (Whittle *et al.*, 1992), aunque Needham *et al.* (1989) proponían (sin demasiada buena argumentación, todo hay que decirlo) fechas entre el 2500 y el 2000 a.C. para los primeros bronzes de las islas.

Mucho más interesantes son los hallazgos metalúrgicos de la Bauma del Serrat del Pont, en la Alta Garrotxa gerundense (Alcalde *et al.*, 1998). En niveles calcolíticos fechados en el 4200 ± 70 BP (Beta-90622) y 4020 ± 100 BP (Beta-64939) hay una punta de flecha y un nodulillo metálico (resto de fundición) cuyas aleaciones son bronzes pobres. En fechas calibradas nos estaríamos moviendo entre 2800 y 2450 a.C. En la fase posterior, Bronce Antiguo, los bronzes son más ricos en estaño. De este yacimiento, cuyos aspectos metalúrgicos están ampliamente tratados en el citado artículo, me interesa destacar dos puntos: que desde mediados del III milenio en fechas calibradas hay bronzes asociados a cerámicas campaniformes y que la nueva tecnología del bronce no sustituye a la del cobre sino que convive con ella en el sitio, en los niveles calcolíticos y del Bronce, durante cerca de un milenio, no sólo en cuanto a la contemporaneidad de los objetos sino también, y ello es más importante, por lo que se refiere a los procesos de obtención de la materia prima en vasijas de reducción, en unos casos cobre y en otros bronce.

Si el modelo que sugiere la Bauma del Serrat del Pont, por ahora el único ejemplo a tener en cuenta con una secuencia estratigráfica larga, se pudiera generalizar, el panorama que dibujaría es el de la llegada de una nueva tecnología (probablemente desde el otro lado de los Pirineos, como sugirieron Fernández-Miranda *et al.* [1995: 67-68]) que, ni irrumpe con fuerza ni parece extenderse con rapidez por la Península. A lo que parece, asistiríamos a un lento proceso de difusión de norte a sur, de manera que no llegará el bronce al Sureste hasta bien asentado el mundo argárico, y siempre conviviendo con una pujante metalurgia del cobre. En

otro orden de cosas, esa lenta transmisión del conocimiento de un nuevo metal supuestamente más ventajoso parece estar apuntando hacia la existencia de un mosaico económico-social poco estructurado territorialmente, inconexo o débilmente conectado y renuente al cambio y a la novedad, al menos en el ámbito de la metalurgia.

3. EL BRONCE MEDIO

A lo largo del II milenio a.C. se detectan algunos cambios tecnológicos que cabe destacar. Los instrumentos y la panoplia armamentística cambian funcionalmente poco (aunque ahora cabe hablar de las primeras espadas) pero hay ciertos rasgos tipológicos que se asientan definitivamente y otros que aparecen como novedad. Entre los primeros cabría mencionar el hábito de emangar cuchillos y puñales con empuñaduras roblonadas y entre los segundos los nuevos diseños de hojas con nervadura central. Es también un período en el que los hallazgos de objetos de adorno de metal son más frecuentes, en particular en la Cultura del Argar, algo que podría resultar indicador de la creciente valoración del metal como material de prestigio. Con todo, el hecho más importante desde el punto de vista metalúrgico fue el descubrimiento de la plata en las comunidades argáricas de la provincia de Almería, tema al que dedicaré párrafo aparte.

3.1. LA OBTENCIÓN DE COBRE Y BRONCE EN EL BRONCE MEDIO

Hasta donde las evidencias hablan, el método de obtención de materias primas siguió siendo la vasija de reducción, como en épocas precedentes. La introducción y el asentamiento cada vez más firme del bronce al estaño no parece que trajera aparejados cambios en esta tecnología básica. Se han analizado las escorificaciones de varias vasijas en las que se han encontrado compuestos de cobre y de estaño que demuestran que el bronce se obtenía utilizando el sencillo método de la reducción directa de una mezcla de minerales de cobre y estaño. La eficacia del mismo ha sido experimentalmente probada por Rostoker y Dvorak (1991: 16-17). Sin embargo, queda todavía mucho trabajo analítico por hacer a este respecto para conocer mejor los detalles y para detectar sutiles cambios en el funcionamiento de estas vasijas pues tenemos al menos un caso de fundición de minerales complejos de cobre y estaño, del yacimiento del Bronce Antiguo de Villaviciosa de Odón (Madrid), en el que no se obtuvo bronce sino sólo cobre (Rovira y Montero, 2003: 18-21) y ello sugiere que algún cambio en el quimismo se debió introducir para conseguir el bronce.

Hacia finales del Bronce Medio comienzan a apreciarse algunos signos de intensificación de la producción cuprífera. El más evidente es el hallazgo de verdaderos lingotes que, aunque de poco peso en relación con los que se darán más tarde, ya indican claramente su función como acumulaciones de metal bruto para ser procesado más o menos lejos del punto de producción. El caso más claro son los lingotes hallados en el yacimiento de Peñalosa (Baños de la Encina, Jaén) (Contreras, s/f). También podría adscribirse a este fenómeno el depósito asturiano de lingotes y otros objetos de Gamonedo, cuya cronología de Bronce Antiguo me parece algo forzada (de Blas, 1980).

Con la aparición del lingote entramos en un nuevo concepto de la producción de metal que da pie a pensar en un cierto grado de especialización y al establecimiento de relaciones comerciales a una cierta distancia, despuntando otro modelo superador del modo de producción doméstico imperante con anterioridad, aunque no debe entenderse (o al menos yo no lo

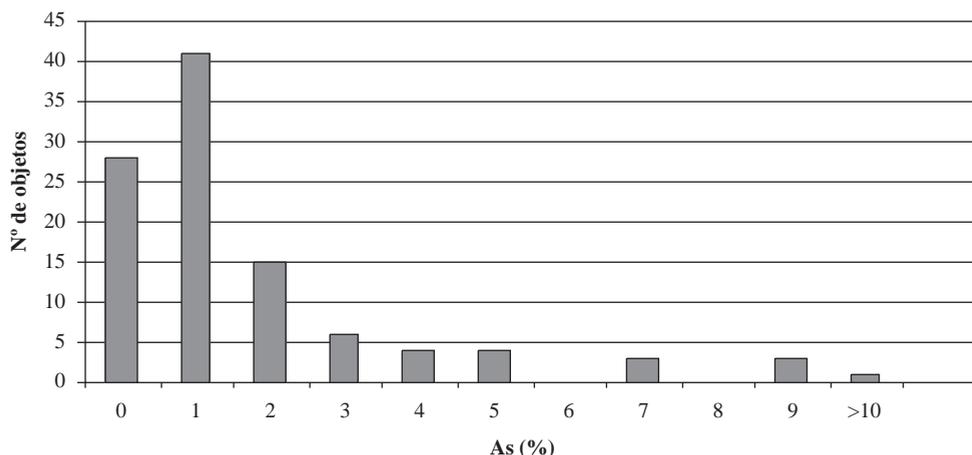
entendiendo así) que ese nuevo modelo fuera de implantación general en la segunda mitad del II milenio a.C.

3.2. LAS ALEACIONES DE BASE COBRE EN EL BRONCE MEDIO

Durante todo este período convivieron los objetos de cobre con los de bronce al estaño, siendo estos últimos minoría. Si tomamos como ejemplo los 132 metales argáricos de la provincia de Almería analizados por el Proyecto de Arqueometalurgia veremos que el 80,3% son cobres o cobres arsenicados y el 19,3% restante bronce con más del 2% de estaño (no considero bronce verdaderos los que tienen menos del 2% de estaño por la alta probabilidad de que sean aleaciones no intencionadas o producto de reciclado de metal).

La figura 8 muestra la distribución de los contenidos de arsénico en los objetos argáricos almerienses. Es algo distinta a la vista en los materiales de la cultura de Los Millares (véase la Fig. 4) pero de nuevo está indicando la creciente dificultad en conseguir objetos con porcentajes altos de arsénico, aunque los argáricos son, por término medio, algo más arsenicados que los calcolíticos. La explicación no hay que buscarla, creo yo, en un cambio tecnológico drástico, aunque sería conveniente admitir y tratar de demostrar que las condiciones reductoras en las vasijas de reducción mejoran en esta época al ensayar la producción de bronce, lo cual influiría en una mejor recuperación del arsénico asociado de forma natural a las mineralizaciones locales de cobre. La explicación descansa, en mi opinión, en dos factores coyunturales: de un lado, un alto porcentaje de los objetos analizados provienen de necrópolis argáricas y por tanto, como se ha propuesto en el Apartado 2.2, forman parte de un volumen de metal retirado de la circulación y no sujeto a procesos de reciclaje desde el momento de su enterramiento. De otro lado, no es descabellado pensar en un incremento de la población argárica que generara más necesidades de metal y la subsiguiente puesta en explotación de nuevos criaderos cupríferos de la zona, habitualmente ricos en arsénico como demostraron las prospecciones mineras efectuadas por Montero (1994).

FIGURA 8
CONTENIDO DE ARSÉNICO EN LOS OBJETOS DE COBRE DE LA CULTURA DEL ARGAR.



En cuanto a los bronce, el panorama que dibuja la figura 9 es el de una técnica de aleación con escaso control sobre el producto final. Un importante número de metales pertenece al grupo de los llamados bronce pobres (con menos del 6% de estaño), y el grupo de los bronce con mejores cualidades mecánicas, que son los que contienen entre 10% y 14% de estaño, no destaca del resto. Todo hace pensar que estamos en una larga fase de tanteos con grandes dificultades para conseguir bronce estandarizados y que las mejores prestaciones del bronce no acaban de ser reconocidas ni por el metalúrgico ni por el usuario, al menos *a priori*. La dificultad de estandarización de las ligas deriva del propio proceso de obtención del bronce, por el método de reducción conjunta de una mezcla de minerales de cobre y de estaño. Al impedimento que supone reconocer a ojo con precisión la ley de los minerales que se están mezclando hay que añadir la propia heterogeneidad de los mecanismos de reducción en la vasija (Rovira *et al.*, 1998: 156).

3.3. LAS CADENAS OPERATIVAS APLICADAS AL TRABAJO DEL METAL

A lo largo del Bronce Medio se operaron cambios apreciables, aunque no drásticos, en las recetas de taller aplicadas a la producción de objetos. Los datos extraídos de los trabajos metalográficos de Rovira y Gómez Ramos (2003) indican que hubo un uso más frecuente de la cadena 6, la que implica la forja del bruto de colada, el recocido y una nueva forja final, en comparación con las fases anteriores. La figura 10 recoge los resultados y en ella la diferencia con la figura 6 es evidente. Sin embargo no podemos dejar de señalar el enorme peso de las tradiciones calcolíticas todavía en este período, reflejadas en ese 37% de objetos elaborados con la cadena 2, la simple forja en frío del producto de fundición. Se podrá argüir no sin razón que es una cadena bien adaptada al trabajo en el taller de una buena parte de los metales del Bronce Medio, pero ese mismo argumento nos habla también del pequeño avance en términos cualitativos experimentado por la metalurgia de taller en más de 1.500 años, cuando debería estar más que probado que la cadena 6 es más completa y eficiente. El Bronce Medio no sería, pues, un período de acusada dinamización de los procesos productivos de objetos de base

FIGURA 9
CONTENIDO DE ESTAÑO EN LOS BRONCES ARGÁRICOS.

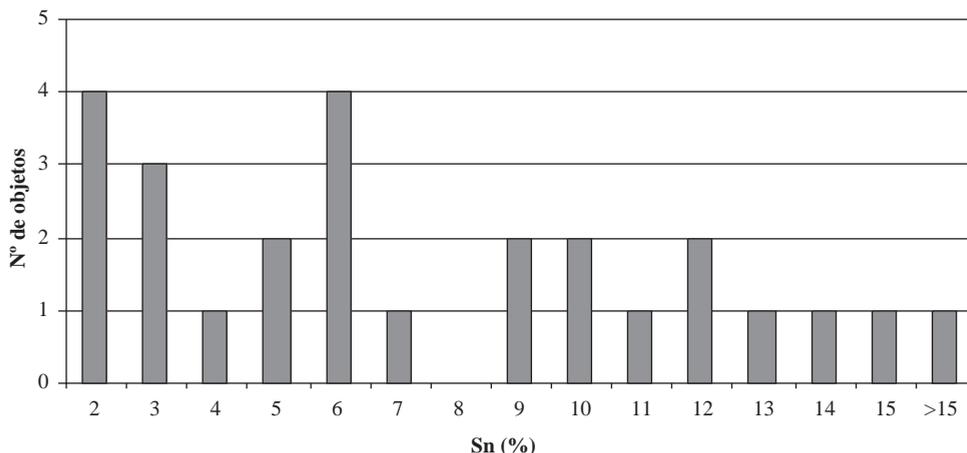
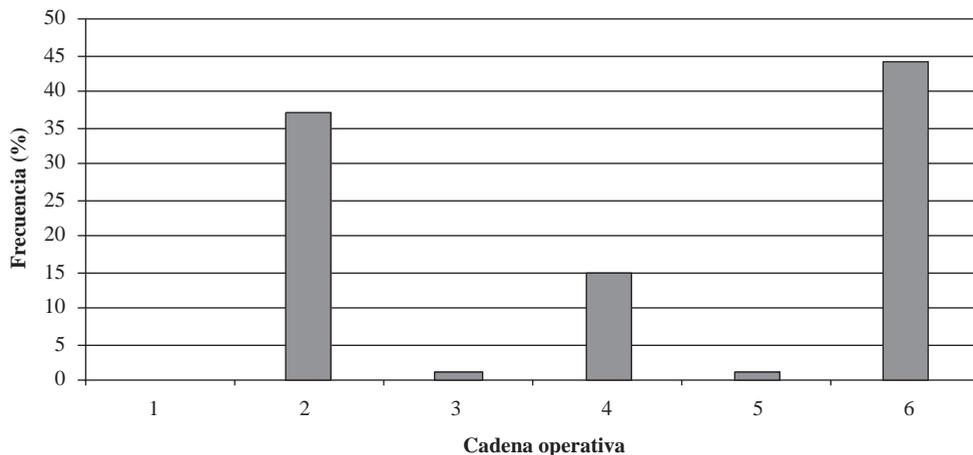


FIGURA 10
 FRECUENCIA DE USO DE LAS DISTINTAS CADENAS OPERATIVAS
 EN LA PRODUCCIÓN DE OBJETOS DE COBRE Y BRONCE DEL BRONCE MEDIO.
 1 FUNDICIÓN; 2 FUNDICIÓN+FORJA EN FRÍO; 3 FUNDICIÓN+RECOCIDO;
 4 FUNDICIÓN+FORJA EN FRÍO+RECOCIDO; 5 FUNDICIÓN+RECOCIDO+FORJA
 EN FRÍO; 6 FUNDICIÓN+FORJA EN FRÍO+RECOCIDO+FORJA EN FRÍO.



cobre, aunque si comienza a entreverse, hacia el final, una cierta progresión en la explotación de recursos básicos.

3.4. LA PLATA ARGÁRICA

La aportación más importante de la cultura del Argar a la metalurgia fue el descubrimiento de la plata en el occidente europeo. La plata era ya conocida en Oriente Próximo desde el IV milenio a.C., entendiéndose derivada de la explotación del plomo en aquellas regiones. En la Anatolia oriental se han estudiado escorias y litargirio que demuestran que ya en tan tempranas fechas de la primera mitad del IV milenio se explotaban jarositas, probablemente de la región de Keban, de las que se extraía plomo enriquecido en plata y del cual, mediante copelación, se separaba el metal noble (Hess *et al.*, 1998). Algo posteriores, de entre el 3300 y el 3000, Uruk tardío, son los litargirios de Habuba Kabira en Mesopotamia (Pernicka *et al.*, 1998).

El uso de la plata quedó confinado en las regiones del Creciente Fértil, de manera que en Europa fue un metal desconocido hasta mucho más tarde. La Península Ibérica y en particular la provincia de Almería es el punto de origen de la plata más antigua del occidente europeo. Poco se puede añadir al estudio que realizamos hace algunos años (Montero *et al.*, 1995), del que extraeré aquí los datos más llamativos.

A diferencia de lo que había sucedido mucho antes en Anatolia y Mesopotamia, la plata del Sureste no fue el resultado de la explotación de minerales argentíferos sino de la casualidad de haber descubierto los depósitos de plata nativa del término de Herrerías (Cuevas del Almanzora, Almería), allá por los albores de la cultura del Argar. Hay una datación radiocarbónica de una tumba argárica de Herrerías, en cuyo ajuar se encontró un arete argenteo, que la fecha en el 3670 ± 70 BP (CSIC 248), es decir, 2270-1790 cal a.C.

La plata argárica no es, pues, el resultado de un proceso metalúrgico sino del aprovechamiento de las bolsas de plata nativa de una región concreta. Los análisis de la composición química de objetos argáricos ha servido para dar solidez a esa hipótesis al resultar en casi todos los casos plata exenta de plomo, elemento éste último que suele quedar en pequeñas proporciones tras la copelación del plomo argentífero. Y los pocos adornos que contienen algo de plomo se explican sin dificultad por el contexto de la formación metalogenética de la que procede la plata, rica en mineralizaciones plumbo-argentíferas que darían lugar a las importantes explotaciones púnicas, romanas y posteriores de Villaricos y Herrerías.

Pérez Macías (1996: 53 y ss.) ha propuesto un modelo distinto para el Suroeste, reivindicando la obtención de plata a partir de los minerales del Cinturón Piritífero ya en el Bronce Pleno, lo que implicaría, entre otras cosas, conocimientos de copelación. Sin embargo los análisis de escorias que aduce como pruebas, recogidos en La Parrita (Nerva) dan contenidos de sílice y hierro muy parecidos a los de las escorias mucho más modernas, y las inapropiadamente llamadas “escorias de sílice libre” del Cerro de las Tres Águilas (Riotinto) son subproductos inmaduros característicos de la metalurgia de la plata de época orientalizante en el Suroeste y no son propiamente escorias maduras (Rovira y Hunt, e.p.).

4. EL BRONCE FINAL

Llegamos, finalmente, a la etapa de plenitud de la metalurgia de base cobre, de los bronzes. Sin embargo, es quizás de la que tenemos menos información detallada de algunas facetas importantes de la tecnología del metal, como por ejemplo de la obtención de cobre, estaño y plomo, aleante y aleados básicos. También hay grandes vacíos en el conocimiento del desarrollo social por la falta de buenos contextos arqueológicos en muchas regiones.

No hay duda de que la variedad de objetos de metal se dispara pero ahora el tiempo cuenta mucho y, desgraciadamente, no podemos todavía saber el ritmo de los cambios que condujeron a esa situación de preponderancia del metal. Son los tiempos de los depósitos, de las acumulaciones de metal no importa aquí cuál sea su explicación o finalidad. El hecho en sí de la acumulación es indicativo de que nuevos valores habían entrado a formar parte de la escala de apreciación de la riqueza o del significado social y cultural del objeto de metal, aunque la Península resulte un reflejo un tanto empalidecido de ese fenómeno expresado en el ámbito europeo, al menos en cuanto al número y volumen de metal acumulado en los depósitos, salvo excepciones de sobra conocidas. Se abren amplios circuitos que hablan de movimientos de metal a larga distancia detectados por la vía analítica (Northover, 1982; Liversage y Northover, 1998), algunos de ellos operando ya desde el Bronce Antiguo en la Europa templada y fría. En otros enfoques, la dispersión de determinados tipos de objetos delinea extensas conexiones culturales a las que no es ajena la Península (Coffyn, 1985; Giardino, 1995). Esa efervescencia también debió operar en Iberia, aunque muchas de sus claves estén todavía por descubrir.

Desde el punto de vista metalúrgico, en este tiempo entran en escena los bronzes ternarios cobre-estaño-plomo, habitualmente vinculados a producciones del Bronce Atlántico y probablemente de aparición tardía dentro del Bronce Final.

4.1. LA OBTENCIÓN DE METALES EN EL BRONCE FINAL

No es mucho lo que sabemos sobre los métodos en uso para conseguir metal en esta época, a pesar de darse en ella el *floruit* de la bronceística. Los materiales arqueometalúrgicos

que nos podrían proporcionar las claves, las escorias y los restos de hornos, son muy escasos (algo ciertamente paradójico) y sus estudios en el laboratorio poco profundos.

Tanto el taller de fundidor de Peña Negra (Crevillente, Alicante) como el de Ronda (Málaga) han proporcionado fragmentos de vasijas de reducción cuyas escorificaciones, en una primera aproximación analítica, indican que en ambos se utilizaba este procedimiento para obtener cobre y bronce (Gómez Ramos, 1999: 108, 113).

Pero es en el Bronce Final cuando comienzan a registrarse hallazgos de lingotes planoconvexos de cobre, de pesos superiores al kilogramo (o sus fragmentos). Quizás el que mejor ejemplifica el caso sea el del depósito de La Sabina en Formentera (Delibes y Fernández-Miranda, 1988: 91, 167), que ya sugiere una tecnología de horno más desarrollada de la que, dicho sea de pasada, no tenemos ninguna evidencia arqueológica. También de ambiente talayótico antiguo o quizás algo anterior, es el lingotillo planoconvexo en forma de pan de Son Mercer de Baix (Ferrerries, Menorca), de apenas 100 g de peso, de cobre con muchas impurezas, entre las que el hierro toma un valor muy bajo, 0,06% (*ibídem*: 78, 165) y otros siete panecillos, todavía inéditos, de otros yacimientos menorquines. Tal parece que, al menos en las Baleares, circularon estos dos tipos de lingote en el Bronce Final. De El Risco (Sierra de Fuentes, Cáceres) proceden cinco fragmentos de lingote planoconvexo de un contexto de Bronce Final o Hierro inicial (Gómez Ramos *et al.*, 1998: 107, tab. 3). Mencionaremos finalmente algunos otros materiales cuya analítica está inédita, como los doce fragmentos del depósito del Monderes (Castillonroy, Huesca), el de Castellar de la Muela (Guadalajara) y los dos lingotes de Es Banyul (Menorca).

Desde el punto de vista analítico, estos lingotes de cobre bruto se caracterizan por contener porcentajes de impurezas de hierro muy altas, que rondan o superan el 1% en peso, amén de otras impurezas acompañantes entre las que destacan óxido y sulfuro cuproso. La figura 11 muestra la metalografía del lingote de Castellar de la Muela. De esta tónica se escapan los fragmentos de El Risco, cuyo contenido en hierro es relativamente bajo.

Decía antes que no hay documentación arqueológica ni en la Península ni en las Baleares de estructuras de horno capaces de producir los grandes lingotes planoconvexos. Estos hornos, conocidos en otras latitudes de la Europa continental y mediterránea, son de mayor capacidad que las vasijas de reducción pero, sobre todo, operan de otra manera. Aunque generalmente sólo se conserva la parte baja correspondiente a la solera, parece ser que eran estructuras cilíndricas de unos 50 o 60 cm de diámetro y una altura similar, con una cubeta en el fondo donde se acumulaba el cobre. La escoria se extraía en estado líquido o pastoso, dando lugar a derrames o tortas de sangrado al pie del horno. Pero aquí, ni conocemos ninguna estructura parecida ni tampoco las escorias asociadas.

Tampoco sabemos cómo se obtenían el estaño y el plomo, metales que sólo se ha encontrado en aleación con el cobre formando los bronce ternarios. El hecho de que no se conozca ningún objeto de estaño ni de plomo de esta época hace pensar que no se conocían como tales metales sino como minerales. La hipótesis casa bien con el hecho analítico de escorificaciones en vasijas de reducción en las que encontramos los tres componentes y que hablan de reducciones conjuntas para obtener el bronce, tanto en Peña Negra como en Ronda (Gómez Ramos, 1999: ap. 5). La figura 12 muestra la sección metalográfica de un nodulillo de bronce de Peña Negra. El material en su conjunto está formado por cobre, estaño y plomo pero sólo una parte ha reaccionado para formar metal (partes blancas de la imagen) dando lugar a estructuras vesiculares de bronce ternario. Las zonas grises son minerales sin reducir a metal. Una estructura de ese tipo se formó probablemente en una vasija de reducción.

No se ha hecho por ahora ningún estudio detallado de escorias o escorificaciones del Bronce Final que nos pueda ilustrar sobre la cinética físico-química de estos procesos. Pero

FIGURA 11
MICROESTRUCTURA METALOGRAFICA DE BRUTO DE COLADA DE UN LINGOTE
PLANOCONVEXO DE COBRE DEL BRONCE FINAL. LOS NÓDULOS BLANCOS
SON IMPUREZAS DE SULFURO DE COBRE.

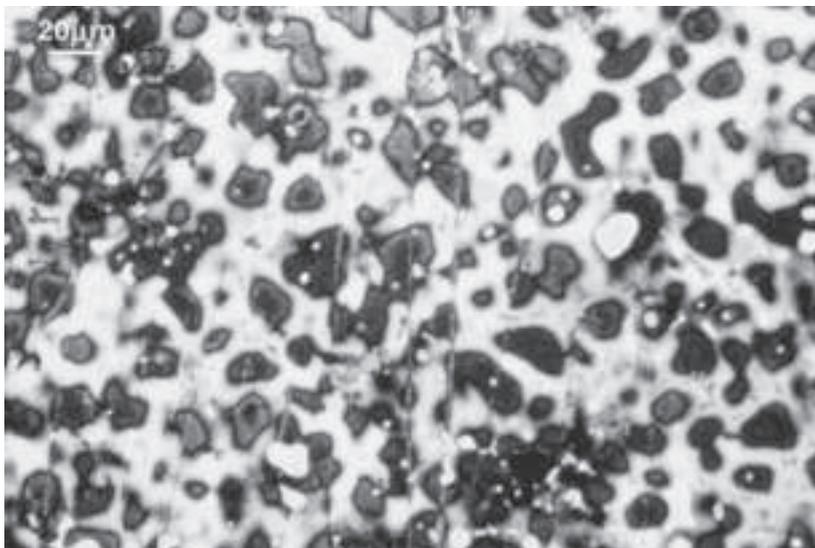
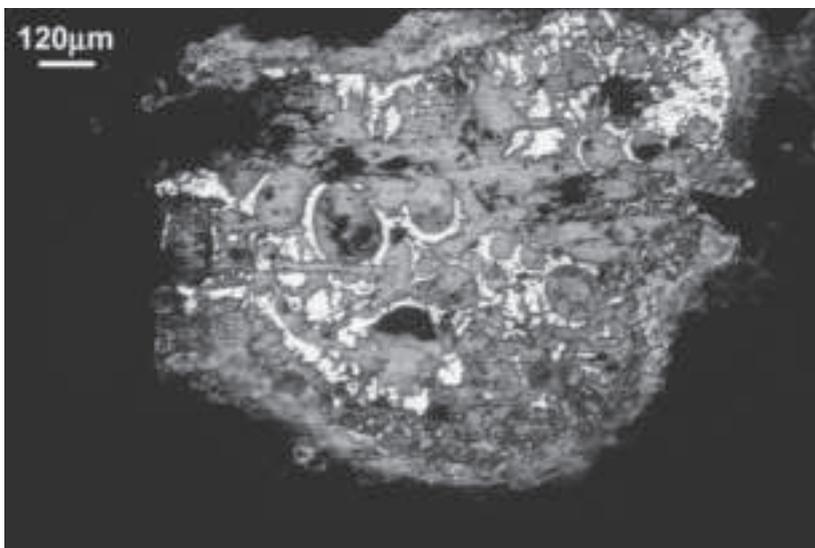
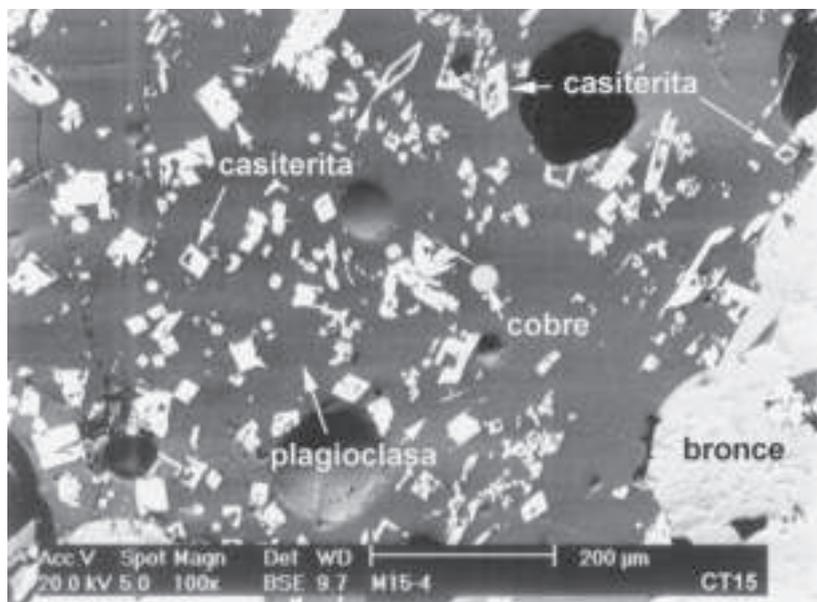


FIGURA 12
SECCIÓN METALOGRAFICA DE UN NODULILLO METÁLICO DE PEÑA NEGRA
(CREVILLENTE, ALICANTE). EXPLICACIÓN EN EL TEXTO.



dispongo de los datos de tres nódulos escoriáceos de la Edad del Hierro, de la Campa Torres (Gijón), que remiten a una tecnología de este tipo, a partir de los cuales se pueden entender con claridad suficiente los mecanismos de la reducción conjunta de minerales de cobre y estaño en cualquier época. Las tres escorias son muy similares en cuanto a composición y estructura: están formadas por una matriz de plagioclasa en la que se hallan embebidos numerosos cristales de casiterita (óxido de estaño) de forma romboidal, bolitas de cobre y algunas formaciones de bronce (Fig. 13). A primera vista, y siguiendo viejas enseñanzas, se podría pensar que son escorias de crisol en el que se han reciclado, refundido, bronce amortizados. Efectivamente, los cristales romboidales de casiterita son característicos de la corrosión secundaria del estaño y no del mineral de mina. Así, pues, al refundir bronce oxidados uno puede encontrar esos curiosos cristales que, según la posición del plano de corte de la muestra, parecen a veces agujas de brújula vistos al microscopio. Pero los cristales de estas escorias de La Campa ofrecen una peculiaridad que hace que la interpretación del proceso sea radicalmente distinta: muchos de ellos tienen un núcleo de cobre (núcleo oscuro en algunos cristales de la Fig. 13). Ha sido Dungworth (2000) quien se ha percatado, al realizar experimentos de obtención de bronce a partir de cobre y estaño, de que, en ambiente con exceso de oxígeno en el horno, el estaño actúa como protector del cobre, oxidándose alrededor de los granos de ese metal y tomando la forma de agujas de casiterita con núcleo cobrizo. Así, pues, lo que nos está describiendo la escoria de la figura 13 es un proceso de obtención de bronce en un horno muy sencillo, dado en un medio poco reductor o con fases oxidantes, perfectamente compatible con el funcionamiento de una vasija de reducción, artificio cuya estructura abierta hace difícil el mantenimiento de una atmósfera reductora en la cámara de reacción (Rovira 2002b: 91). Es,

FIGURA 13
SECCIÓN DE UNA ESCORIA DE PRODUCCIÓN DE BRONCE
POR REDUCCIÓN CONJUNTA DE MINERALES DE COBRE Y DE ESTAÑO.
EXPLICACIÓN EN EL TEXTO.



por otro lado, evidente que no son escorias de crisol usado para reciclar bronce amortizados por dos razones: una, su tasa de óxido ferroso, que en ningún caso supera la cifra del 10%, es algo baja para una escoria de crisol, y la segunda y más importante, la presencia de bolitas de cobre indica un bimetalismo de partida que no casaría con el mencionado reciclado.

Queda, sin embargo, como un punto sin adecuada solución por el momento, el tema del plomo.

4.2. METALES Y ALEACIONES DEL BRONCE FINAL

Son abundantísimos los datos analíticos publicados de objetos de metal del Bronce Final. Por citar los más representativos: Coffyn (1985), Comendador (1998), Consuegra *et al.* (1991), Delibes y Fernández-Miranda (1988), Delibes *et al.* (1999), Rovira (1995a) y Sierra *et al.* (1984).

La sistematización estadística que hice en Rovira (1995a: 52-54) sigue teniendo vigencia en la actualidad. La distribución de las aleaciones binarias y ternarias en la Península y las Baleares muestra ciertos rasgos distintivos regionales. En la mayor parte de las regiones hay una clara preferencia por los bronce binarios cobre-estaño, con independencia del tipo de pieza, pero en el Noroeste y parte occidental de la Cuenca del Duero los bronce ternarios muy plomados son frecuentes cuando no predominantes, especialmente en las típicas hachas de talón anilladas presumiblemente más tardías. En un trazado muy esquemático podríamos decir que las regiones del Noroeste son más afines a la metalurgia de la fachada atlántica europea, muy proclive al empleo de bronce plomados, mientras que el resto de la Península y las Islas muestran rasgos metalúrgicos más mediterráneos, caracterizados por cierta reticencia a plomar en exceso los bronce.

Las tasas medias de estaño son también variables a escala regional, observándose en general una buena relación de proximidad-alejamiento a las áreas estanníferas Gallegas, del Norte de Portugal, de Salamanca, de Zamora y de Extremadura. Ante la carencia de otras evidencias arqueológicas consistentes, esta es una sugerente indicación de que los recursos de estaño peninsulares ya estaban en explotación en el Bronce Final y proporcionaban mineral a un entorno más o menos definido.

Con todo, la variabilidad observada en las aleaciones está muy lejos de la estandarización, como puede verse en la serie de gráficos de Rovira (1995b: 496-500).

4.3. LAS CADENAS OPERATIVAS APLICADAS AL TRABAJO DEL METAL

El dominio de las artes de la bronceística se manifiesta en la gran diversidad tipológica de los objetos, sin paralelos en el período precedente. Las seis cadenas operativas básicas siguen en uso en la práctica habitual del bronceista y alguna más que aconsejaría subdividir la número uno, la que se refería a los objetos simplemente moldeados, según que el molde esté recalentado o no en el momento de verter el metal líquido en su interior. Tras cientos de años de acumular conocimientos empíricos, el fundidor ha aprendido a reconocer por el color ciertas propiedades mecánicas de las aleaciones con estaño y cómo modificarlas favorablemente mediante los tratamientos térmicos y mecánicos. Sin embargo, y aunque estamos detectando ciertas recetas predominantes, inexplicablemente no siempre se usa la mejor para un objeto determinado según su función y las propiedades del metal, lo cual me hace pensar que el dominio de la metalurgia era más aparente que real, o que había razones imponderables para nosotros que decidían cuándo hacer las cosas bien y cuándo no, o que había buenos y malos

artesanos. ¿Es ello reflejo de un mercado enormemente complejo con clientes para todos los gustos y posibilidades económicas? Es posible que así fuera.

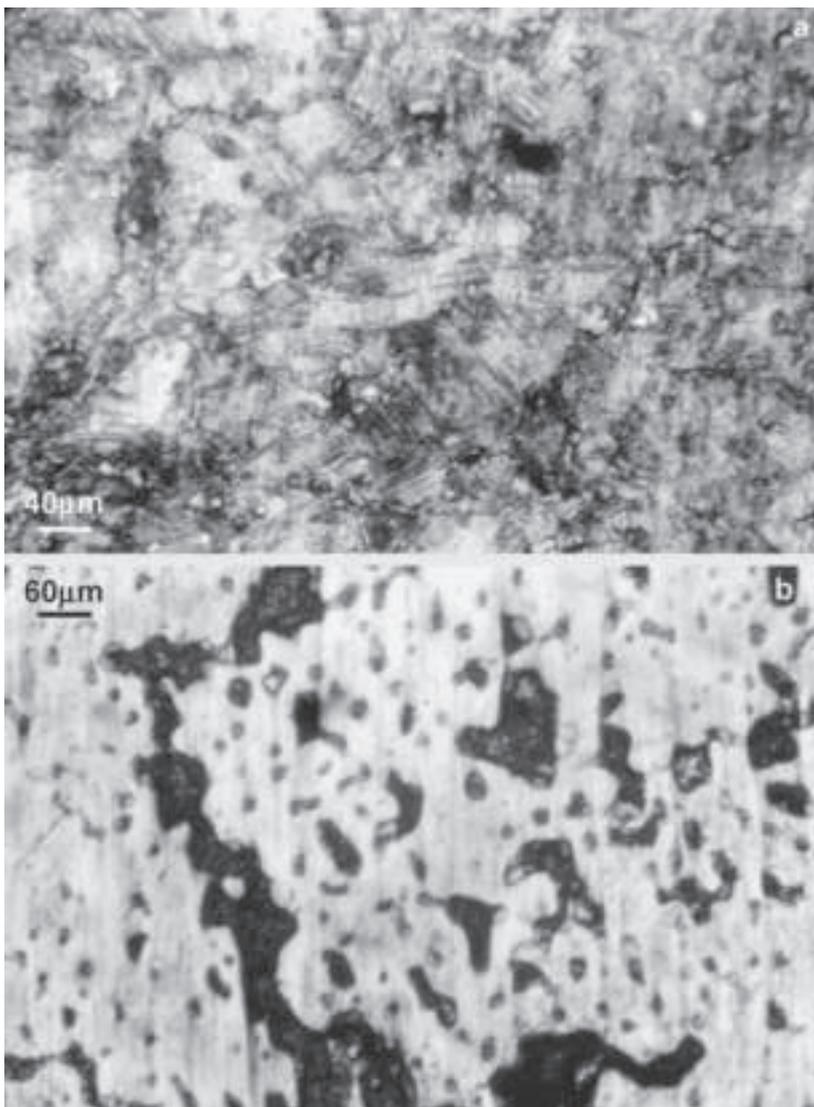
Un problema que el fundidor no fue capaz de resolver adecuadamente es el de desgaseo del molde durante la colada de objetos masivos como las hachas, puntas de lanza y espadas. Cuando se vierte el metal líquido hay una fuerte emisión de gases (generalmente vapor de agua) al entrar en contacto dicho metal con el material del molde, siempre más frío. La propia dinámica del fluido mientras rellena la cavidad arrastra aire o puede dificultar la evacuación del que ya hay en el interior. El resultado es que muchas de las fundiciones contienen burbujas gaseosas ocluidas que son puntos de debilidad por los que con frecuencia se rompe el objeto. Las hemos visto en muchas secciones de fractura de hachas y espadas. Una manera de paliar el problema y mejorar el desgaseo era procurando que las valvas del molde no ajustaran perfectamente, y así parecen atestiguarlo las gruesas rebabas que, a lo largo de la junta del molde, observamos en las hachas que no han sido pulidas con el suficiente cuidado. Pero aun así, la formación de burbujas ocluidas siguió siendo un problema en muchos casos. Quizás por ello se recurría tan frecuentemente a la forja a martillo del metal para, mediante esta deformación mecánica, tratar de aplastar las burbujas. Pero lo cierto es que no he visto ningún caso en que lo consiguieran.

Cuando hace unos años estudié metalográficamente unas pocas espadas de la Ría de Huelva (Rovira, 1995a: 49-50) encontré dos cadenas operativas básicas, la 4 y la 6, esta última aplicando selectivamente la forja en frío a los filos. Se sabía por los trabajos de Tylecote y Northover (1990) que, además de las técnicas documentadas en mi trabajo, había espadas inglesas hechas con la cadena 1. Con el fin de ampliar el espectro de la tecnología de taller de las espadas de lengua de carpa, recientemente hemos metalografiado y estudiado la dureza en diversos puntos de la sección de otras doce espadas del mismo depósito (Montero *et al.*, e.p.). Cuál no sería nuestra sorpresa al comprobar que había hasta cinco maneras distintas de fabricar las espadas, dos más de las constatadas previamente. Esas cinco cadenas operativas son todas las posibles variaciones que se obtienen combinando la fundición y los tratamientos térmicos y mecánicos en un orden lógico. Los estudios de la dureza, sin embargo, demostraban que sólo un par de ellas, en particular la 6, permitían obtener bronces duros y tenaces; las demás daban como resultado un metal blando. Supongo que habrá quien defienda que la mayoría de esas espadas eran simplemente objetos para la ostentación o armas de parada o simples ofrendas, pero eso es algo tan indemostrable que no merece por mi parte demasiada atención porque, para esa función de “mentirijillas”, no me explico la fuerte inversión de trabajo (que no se ve a simple vista) realizada en muchas de ellas para homogeneizar el metal y forjarlo, después de sacadas del molde. Creo, simplemente, que las cosas eran así y no como nosotros quisiéramos que fueran, y que había varios caminos para llegar al mismo fin, todos ellos practicables. Era ya una cuestión del propietario, seguramente conocedor de las prestaciones del arma y de sus limitaciones, manejarla de la manera más eficaz y duradera.

También se ha dicho de las hachas muy plumadas (con más del 15% de plomo) que no podían servir como tales porque una aleación ternaria así no reúne las cualidades mecánicas (según la óptica del metalúrgico actual) para funciones de corte por percusión, otorgándoles otras funciones tales como lingotes, patrones de intercambio premonetal u objetos votivos. Hace poco investigamos dos de esas grandes *palstaves* ibéricas, del depósito de Vara (Lugo), llegando la conclusión de que una tenía el filo preparado para trabajar como instrumento de corte (Montero *et al.*, 2003: 45). El contenido de plomo en esa hacha de talón y anillas oscila entre el 21% y el 24%. La figura 14 muestra las metalografías en el filo (a) y en el talón (b), manifestando claramente que el filo fue forjado en frío para endurecerlo. ¿Para qué aplicar ese trabajo suplementario en el taller si el hacha no fuera a ser usada como tal?

Con demasiada frecuencia pretendemos trasladar los enormes conocimientos de metalurgia moderna a los balbuceos de la metalurgia primitiva y calificamos de materiales imposibles de usar ciertas aleaciones como los broncees muy plomados, hoy desaparecidos del panorama de las aleaciones industriales salvo en aplicaciones para gran estatuaria. Pensamos que, puesto que para nuestros usos actuales esos materiales se romperían con facilidad, también debía suceder así en el pasado. Pero las limitaciones derivadas de las propiedades mecánicas de un

FIGURA 14
METALOGRAFÍAS DE UN HACHA DE TALÓN Y ANILLAS DEL DEPÓSITO DE VARA (LUGO). A) FILO; B) TALÓN. EXPLICACIÓN EN EL TEXTO.



objeto pueden obviarse en gran medida si el usuario las conoce y hace un uso correcto del mismo lejos del límite de rotura, como por ejemplo cortando madera o carne con un hacha como la mencionada de Vara, o cortando y pinchando carne con una espada que sabemos que resistiría mal el mandoble. Para comprender la efectividad de una herramienta o un arma es necesario conocer cómo se puede manejar porque, como demuestran ciertos trabajos experimentales, la dureza del metal, por ejemplo, no es tan importante para derribar un árbol como se podría suponer.

5. CONSIDERACIONES FINALES

A pesar de todas las limitaciones que he tratado de poner de manifiesto porque mi visión de la prehistoria de nuestra metalurgia es la de un proceso muy lento de aprendizaje tecnológico y gestión de recursos nada triunfalista, el camino condujo a través de muchas peculiaridades a la gran eclosión metalúrgica del Bronce Final, época en la que la Península parece engancharse al ritmo europeo con mejor paso, y la evolución posterior que se vislumbra durante la Edad del Hierro corre muy pareja con lo que se conoce de los países de nuestro entorno. Ya entonces la producción y el uso del metal cobra un peso económico y social más fácilmente discernible de las evidencias arqueológicas.

Pero en las etapas precedentes creo que hay que ser muy cautos a la hora de trasladar a nuestra realidad arqueológica los modelos foráneos al pie de la letra. En particular aquellos modelos que enfatizan el metal como recurso básico y potenciador de la complejidad social. Hay pocos argumentos, por no decir que ninguno, que avalen la especialización metalúrgica en el Calcolítico, en el Bronce Antiguo y en el Bronce Medio, al menos en el sentido que Vere Gordon Childe daba al término, salvo que apliquemos una escala maximalizadora a lo que parece una producción pequeña a juzgar por los escasos restos que ha ido dejando por los campos y cerros de nuestra geografía, tan carente de depósitos cuantiosos de objetos de metal que justifiquen una supuestamente importante producción metalúrgica y con unos enterramientos en los que el peso relativo del metal amortizado es pequeño y en gran medida estandarizado, lo que impide hablar de algún personaje realmente acumulador de riqueza metalúrgica, como los de la necrópolis calcolítica de Varna en Bulgaria, pongo por caso.

La carencia de escoriales en un país con abundantes recursos naturales de minerales de cobre fácilmente accesibles y una tecnología sencilla de transformación basada en la vasija de reducción me temo que va a ser siempre un problema a la hora de valorar la producción de cobre. Pero aun admitiendo que ésta fuera grande y creciente desde el Calcolítico, no consigo entender cómo se ha podido ir esfumando sin dejar rastro ni podría aceptar como razonable que todo ese volumen acumulativo de metal formara parte constantemente del metal circulante.

Pienso más bien en una producción modesta, más de carácter doméstico que de otro tipo, poco dada a la acumulación pero con el ritmo necesario para suplir las necesidades de un entorno cercano algo más alejado de las materias primas. Pero esto no deja de ser una hipótesis que quizás se cumpla en algunos casos y en determinadas regiones, porque tenemos evidencias en la cuenca del Duero de yacimientos calcolíticos alejados más de 100 km de las minas más próximas, a los que llegaba el mineral y allí se transformaba en metal y se seguía todo el proceso metalúrgico. Los hay también en Extremadura y en otras regiones. Así, pues, los modelos basados en el control de recursos y en los lugares exclusivos de producción a pie de mina me los tomo con cierta reserva. Supongo que conforme avancen los programas de excavación sistemática las “excepciones” serán más numerosas.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDE, G.; MOLIST, M.; SAÑA, M. y TOLEDO, A.

(1997): *Procés d'ocupació de la Bauma del Serrat del Pont (La Garrotxa) entre el 2900 i el 1450 cal a.C.*, Gerona.

BALBÍN, R. DE; BUENO, P.; JIMÉNEZ, P.; ALCOLEA, J.; FERNÁNDEZ, J. A.; PINO, E. y REDONDO, J. C.

(1990): “Arte rupestre levantino en Guadalajara”, *Revista de Arqueología*, 106, pp. 16-24.

BLASCO, C. y ROVIRA, S.

(1992-93): “La metalurgia del cobre y del bronce en la región de Madrid”, *Tabona*, VII (II), pp. 397-415.

BUDD, P.

(1992): “Alloying and metalworking in the Copper Age of Central Europe”, *Bulletin of Metals Museum of the Japan Institute of Metals*, 17, pp. 3-14.

CHARLES, J. A.

(1967): “Early arsenical bronzes: a metallurgical view”, *American Journal of Archaeology*, 71, pp. 21-26.

(1980): “The coming of copper and copper-base alloys and iron: a metallurgical sequence”, en T. A. Wertime and J. B. Muhly (eds.), *The coming of the Age of Iron*, Newhaven, pp. 151-181.

(1985): “Determinative mineralogy and the origins of metallurgy”, en P. T. Craddock y M. J. Hughes (eds.), *Furnaces and Smelting Technology in Antiquity*, Londres, pp. 21-28.

CHERNYKH, E. N.

(1978): “Ai Bunar, a Balkan copper mine of the fourth millenium BC”, *Proceedings of the Prehistoric Society*, 44, pp. 203-217.

CHILDE, V. G.

(1973): *La Evolución Social*, Madrid.

(1978): *La Prehistoria de la Sociedad Europea*, Barcelona.

(1979): *Los Orígenes de la Civilización*, Madrid, 10.^a reimp.

COFFYN, A.

(1985): *Le Bronze Final Atlantique dans la Péninsule Ibérique*, París.

COMENDADOR, B.

(1998): *Los Inicios de la Metalurgia en el Noroeste de la Península Ibérica*, A Coruña.

CONSUEGRA, S.; MONTERO, I. y ROVIRA, S.

(1991): “Estudi arqueometal·lúrgic del dipòsit de Llavorsí”, en J. Gallart, *El Dipòsit de Bronzes de Llavorsí, Pallars Sobirà*, Barcelona, pp. 187-200.

CONTRERAS, F. (coord.).

(s/f): *Proyecto Peñalosa*, Sevilla (edición CD-ROM).

DE BLAS, M. A.

(1980): “El depósito de materiales de la Edad del Bronce de Gamonedo (Asturias)”, *Zephyrus*, XXX-XXXI, pp. 268-276.

- (1989): “La minería prehistórica del cobre en las montañas astur-leonesas”, en C. Domergue (coord.), *La Minería y Metalurgia en las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas. I*, Madrid, pp. 143-155.
- DELIBES, G.; FABIÁN, J. F.; FERNÁNDEZ MANZANO, J.; HERRÁN, J. I.; SANTIAGO, J. DE Y VAL, J. DEL
- (1996): “Los más antiguos testimonios del uso y producción de metal en el suroeste de la Submeseta Norte: consideraciones tipológicas, tecnológicas y contextuales”, en *Humanitas. Estudios en Homenaje ó Prof. Dr. Carlos Alonso del Real*, Santiago de Compostela, pp. 163-201.
- DELIBES, G.; FERNÁNDEZ MANZANO, J.; FONTANEDA, E. y ROVIRA, S.
- (1999): *Metalurgia de la Edad del Bronce en el Piedemonte Meridional de la Cordillera Cantábrica. La Colección Fontaneda*, Zamora.
- DELIBES, G. y FERNÁNDEZ-MIRANDA, M.
- (1988): *Armas y Utensilios de Bronce en la Prehistoria de las Islas Baleares*, Valladolid.
- DELIBES, G.; FERNÁNDEZ-MIRANDA, M.; FERNÁNDEZ-POSSE, M. D.; MARTÍN, C.; ROVIRA, S. y SANZ, M.
- (1989): “Almizaraque (Almería): Minería y metalurgia calcolíticas en el Sureste de la Península Ibérica”, en C. Domergue (coord.), *Minería y Metalurgia de las Antiguas Civilizaciones Mediterráneas y Europeas. I*, Madrid, pp. 81-96.
- DELIBES, G.; FERNÁNDEZ-MIRANDA, M.; FERNÁNDEZ-POSSE, M. D.; MARTÍN, C.; MONTERO, I. y ROVIRA, S.
- (1991): “Almizaraque (Almería, Spain). Archaeometallurgy during the Chalcolithic in the South-East of the Iberian Peninsula”, en Ch. Éluère y J.-P. Mohen (eds.), *Découverte du Métal*, París, pp. 303-315.
- DUNGWORTH, D.
- (2000): “Serendipity in the foundry? Tin oxide inclusions in copper and copper alloys as an indicator of production process”, *Bulletin of the Metals Museum of the Japan Institute of Metals*, 32, pp. 1-5.
- FERNÁNDEZ-MIRANDA, M.; MONTERO, I. y ROVIRA, S.
- (1995): “Los primeros objetos de bronce en el occidente de Europa”, *Trabajos de Prehistoria*, 52 (1), pp. 57-69.
- GIARDINO, C.
- (1995): *Il Mediterraneo Occidentale fra XIV ed VIII secolo a.C. Cerchie minerarie e metallurgiche*, Oxford.
- GÓMEZ RAMOS, P.
- (1999): *Obtención de Metales en la Prehistoria de la Península Ibérica*, Oxford.
- GÓMEZ RAMOS, P.; MONTERO, I. y ROVIRA, S.
- (1998): “Metalurgia protohistórica extremeña en el marco del Suroeste peninsular”, en A. Rodríguez Díaz (coord.), *Extremadura protohistórica: Paleoambiente, Economía y Poblamiento*, Cáceres, pp. 97-117.
- HARRISON, R. J.
- (1974): “Ireland and Spain in the Early Bronze Age”, *Journal of the Royal Society of Antiquaries of Ireland*, 104, pp. 52-73.

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*, Ankara, pp. 3-10.

HESS, K.; HAUPTMANN, A.; WRIGHT, H. y WHALTON, R.

(1998): "Evidence of fourth millennium BC silver production at Fatmalı-Kalecik, East Anatolia", en T. Rehren, A. Hauptmann y J. D. Muhly (eds.), *Metallurgica Antiqua*, Bochum, pp. 57-67.

LIVERSAGE, D. y NORTHOVER, J. P.

(1998): "Prehistoric trade monopolies and bronze supply in northern Europe", en C. Mordant, M. Pernot y V. Rychner (eds.), *L'Atelier du bronzier en Europe du XX^e au VIII^e siècle avant notre ère. Vol. 1*, París, pp. 137-151.

MADDIN, R.; STECH, T. y MUHLY, J. D.

(1991): "Çayönü Tepesi. The earliest archaeological metal artifacts", en Ch. Éluère y J.-P. Mohen (eds.), *Découverte du Métal*, París, pp. 375-386.

MCKERRELL, H. y TYLECOTE, R. F.

(1972): "The working of copper-arsenic alloy in the Early Bronze Age and the effect on the determination of provenance", *Proceeding of the Prehistoric Society*, 38 (1), pp. 209-218.

MONTERO, I.

(1994): *El Origen de la Metalurgia en el Sureste Peninsular*, Almería.

MONTERO, I.; HUNT, M. A. y ROVIRA, S.

(e.p.): "Technological study of swords from Ria de Huelva hoard (Spain)", en *Proceedings of the 34th International Symposium on Archaeometry, 3-7 May, Zaragoza (Spain)*, Zaragoza.

MONTERO, I.; RODRÍGUEZ, S. y ROJAS, J. M.

(1990): *Arqueometalurgia de la Provincia de Toledo. Minería y Recursos Minerales de Cobre*, Toledo.

MONTERO, I.; ROVIRA, S.; DELIBES, G.; FERNÁNDEZ MANZANO, J.; FERNÁNDEZ-POSSE, M. D.; HERRÁN, J. I.; MARTÍN, C. y MAICAS, R.

(2003): "High leaded bronze in the Late Bronze Age metallurgy of the Iberian Peninsula", en *Proceedings of the International Conference Archaeometallurgy in Europe, 24, 25, 26 Septiembre 2003, Milan, Italy. Vol. 2*, Milán, pp. 39-46.

MONTERO, I.; ROVIRA, S. y GÓMEZ RAMOS, P.

(1995): "Plata argárica", *Boletín de la Asociación Española de Amigos de la Arqueología*, 35, pp. 97-106.

NEEDHAM, S. P.; LEESE, M. N.; HOOK, D. R. y HUGHES, M. J.

(1989): "Developments in the Early Bronze Age metallurgy of southern Britain", *World Archaeology*, 20(3), pp. 384-402.

NORTHOVER, J. P.

(1982): "The exploration of long-distance movements of bronze in Bronze and Early Iron Age Europe", *Bulletin of the Institute of Archaeology, University of London*, 19, pp. 45-72.

O'BRIEN, W.

(1994): *Mount Gabriel. Bronze Age Mining in Ireland*, Belfast.

PERNICKA, E.; REHREN, T. y SCHMITT-STRECKER, S.

(1998): "Late Uruk silver production by cupellation at Habuba Kabyra, Syria", en T. Rehren, A. Hauptmann y J. D. Muhly (eds.), *Metallurgica Antiqua*, Bochum, pp. 123-134.

RENFREW, C.

(1967): "Colonialism and megalithismus", *Antiquity*, 41, pp. 276-288.

ROSTOKER, W. y DVORAK, J. R.

(1991): "Some experiments with co-smelting to copper alloys", *Archaeomaterials*, 5, pp. 5-20.

ROVIRA, S.

(1995a): "Estudio arqueometalúrgico del depósito de la Ría de Huelva", en M. Ruiz-Gálvez (ed.), *Ritos de Paso y Puntos de Paso. La Ría de Huelva en el Mundo del Bronce Final Europeo*, Madrid, pp. 33-57.

(1995b): "De metalurgia tartésica", *Tartessos 25 años después, 1968-1993*, Jerez de la Frontera, pp. 475-506.

(1998): "Metalurgia campaniforme en España: resultados de quince años de investigación arqueometalúrgica", en M. C. Frère-Sautot (ed.), *Paléoméallurgie des Cuivres. Actes du Colloque de Bourg-en-Bresse et Beaune, 17-18 oct. 1997*, Montagnac, pp. 109-127.

(2002a): "Metallurgy and society in prehistoric Spain", en B. S. Ottaway y E. C. Wager, *Metals and Society*, Oxford, pp. 5-20.

(2002b): "Early slags and smelting by-products of copper metallurgy in Spain", en M. Bartelheim, E. Pernicka y R. Krause (eds.), *Die Anfänge der Metallurgie in der Alten Welt / The Beginnings of Metallurgy in the Old World*, Rahden/Westfalia, pp. 83-98.

ROVIRA, S. y AMBERT, P.

(2002): "Les céramiques à réduire le minerai de cuivre: une technique métallurgique utilisée en Ibérie, son extension en France méridionale", *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 99 (1), pp. 105-126.

ROVIRA, S. y GÓMEZ RAMOS, P.

(2003): *Las Primeras Etapas Metalúrgicas en la Península Ibérica. III. Estudios metalográficos*, Madrid.

ROVIRA, S. y GUTIÉRREZ, A.

(2003): "Toro 2001: crónica de un proceso de fundición experimental de minerales de cobre", en J. Fernández Manzano y J. I. Herranz (eds.), *Mineros y Fundidores en el Inicio de la Edad de los Metales*, León, pp. 70-74.

ROVIRA, S. y HUNT, M. A.

(e.p.): "The 'free silica' type of slags: Phoenician silver production in the south-west of the Iberian Peninsula", *Proceedings of the 34th International Symposium on Archaeometry, 3-7 May 2004, Zaragoza*, Zaragoza.

ROVIRA, S. y MONTERO, I.

(1994): "Metalurgia Campaniforme y de la Edad del Bronce en la Comunidad de Madrid", en M. C. Blasco (ed.), *El Horizonte Campaniforme de la Región de Madrid en el Centenario de Ciempozuelos*, Madrid, pp. 137-171.

- (2003): "Natural tin-bronze alloy in Iberian Peninsula metallurgy: potentiality and reality", en A. Giumlia-Mair y F. Lo Schiavo (eds.), *Le Problème de l'Étain à l'Origine de la Métallurgie / The Problem of Early Tin*, Oxford, pp. 15-22.
- ROVIRA, S.; MONTERO, I. y CONSUEGRA, S.
 (1997): *Las Primeras Etapas Metalúrgicas en la Península Ibérica. Vol. I. Análisis de Materiales*, Madrid.
- ROVIRA, S.; MONTERO, I. y GÓMEZ RAMOS, P.
 (1998): "The beginning of the use of metals in Spain", en *Proceedings of the Fourth International Conference on the Beginning of the Use of Metals and Alloys (BUMA-IV)*, Sendai, pp. 153-158.
- RUIZ TABOADA, A. y MONTERO, I.
 (1999): "The oldest metallurgy in western Europe", *Antiquity*, 73, pp. 897-903.
- SÁEZ, R.; NOCETE, F.; NIETO, J. M.; CAPITÁN, M. A. y ROVIRA, S.
 (2003): "The extractive metallurgy of copper from Cabezo Juré, Huelva, Spain: Chemical and mineralogical study of slags dated to the third millenium BC", *The Canadian Mineralogist*, 41, pp. 627-638.
- SIERRA, J. C.; VÁZQUEZ, A. J.; DE LUIS, A. y FERREIRA, S.
 (1984): *El Depósito del Bronce Final de Samieira. Investigación Arqueoanalítica y Experimental*, Ourense.
- SHALEV, S.; HAPP, J. y FRÈRE-SAUTOT, M. Ch.
 (2003): "How could have the Chalcolithic people from southern Israel produced their copper tools, more than six thousand years ago?", *Cu+*, pp. 3-5.
- TYLECOTE, R. F.
 (1991): "Early copper base alloys; natural or man-made?", en Ch. Éluère y J.-P. Mohen (eds.), *Découverte du Métal*, París, pp. 213-221.
- TYLECOTE, R. F.; GHAZNAVI, H. A. y BOYDELL, P. J.
 (1977): "Partitioning of trace elements between the ores, fluxes, slags and metal during the smelting of copper", *Journal of Archaeological Science*, 4, pp. 305-333.
- TYLECOTE, R. F. y NORTHOVER, J. P.
 (1990): "Metallographic study", en S. P. Needham, *The Petters Late Bronze Age Metalwork*, Londres, pp. 89-97.
- VILLALBA, M. J.; BAÑOLAS, L.; ARENAS, J. y ALONSO, M.
 (1986): *Les Mines Neolítiques de Can Tintorer, Gavà. Excavacions 1978-1980*, Barcelona.
- WALDREN, W. H.
 (1986): *The Balearic Pentapartite Division of Prehistory*, Oxford.
- WHITTLE, A.; ATKINSON, R. J.; CHAMBERS, R. y THOMAS, N.
 (1992): "Excavations in the Neolithic and Bronze Age Complex at Dorchester-on-Thames, Oxfordshire, 1947-1952 and 1981", *Proceedings of the Prehistoric Society*, 58, pp. 143-201.