METAL Y CIRCULACIÓN DE BIENES EN LA PREHISTORIA RECIENTE

Arqueometalurgia, intercambio, análisis de isótopos, Península Ibérica, edad del Bronce.

Ignacio Montero Ruiz*

La producció, l'intercanvi i el consum de metall són clau en la interpretació del desenvolupament social en la prehistòria recent. La investigació sobre la procedència del metall precisa anàlisis de caracterització. Les tècniques per a determinar la composició dels metalls són les anàlisis químiques i, a partir dels 80, les dels isòtops de plom. Es discuteixen els avantatges i els límits de cada una de les tècniques usades a la península Ibèrica.
Arqueometal·lúrgia, intercanvi, anàlisi d'isòtops, Península Ibèrica, edat del bronce.

Metal production, exchange and consumption are key topics in the explanation of cultural and social developments in Recent Prehistory. Metal provenance research needs to be based on analytical characterisation. The bulk of this research has been done with chemical analysis, and since the 80s lead isotopes begin to be used in Archaeology.
Archaeometallurgy, exchange, dead isotopes, Iberian Península, Bronce Age.

La production, l'échange, et la consommation du métal sont des éléments cléfs dans l'interpretation du devélopement culturel et social de la Préhistoire récente. La recherche sur la provenance du métal requiert des analyses de caractérisation. Les techniques qui ont été utilisées pour déterminer la composition des métaux sont les analyses chimiques et, à partir des années 80, les analyses des isotopes de plomb. On aborde les avantages et les limites de chacune des techniques utilisées dans la péninsule Ibérique où le projet de Archéométalugie a étudié une grande partie des matériaux à travers les analyses de composition.
Paleométallurgie, échange, analyse d'isotopes de Plomb, Péninsule ibérique, Âge du bronce.

INTRODUCCIÓN

Una gran parte del registro arqueológico está constituido por elementos de cultura material que son expresión de las relaciones que el ser humano mantiene con el medio geográfico y con sus congéneres. La utilización de materiales, orgánicos e inorgánicos, para cubrir sus diferentes necesidades permite aproximarnos a esas relaciones mediante la identificación del material empleado en cada caso. El acceso y disponibilidad de materia prima en el ámbito territorial de ocupación física de un individuo o comunidad depende de los recursos que ese medio ofrece y de la tecnología disponible para su obtención. La limitación del medio puede superarse mediante la ampliación del territorio de captación, incluyendo áreas diferentes y a través de relaciones de intercambio con otros grupos o individuos que faciliten la adquisición de la materia prima o del producto elaborado. El desarrollo tecnológico amplía el acceso y las posibilidades de uso de esas materias.

La diversidad de materias primas accesibles al ser humano es enorme, pero su distribución en la superficie terrestre es muy irregular, y a ello hay que añadir la distinta frecuencia o abundancia de cada una de ellas. Estos dos factores, distribución y abundancia, nos van a permitir observar y definir el modelo de uso que el hombre hace de cada uno de los materiales y buscar explicaciones sobre ese comportamiento de uso.

Son precisamente los elementos exóticos o singulares los que suministran una información más clara sobre las relaciones de intercambio por su fácil identificación como elementos foráneos. Su presencia debe ser

* Científico Titular Dpto. de Prehistoria, Instituto de Historia (CSIC)

explicada, por tanto, mediante algún mecanismo que permita el acceso a la misma. De hecho, elementos como el jade, ámbar, conchas marinas, etc... fueron los referentes que los prehistoriadores utilizaron inicialmente para hablar de relaciones de intercambio a larga distancia en la Prehistoria.

Otro criterio empleado para identificar importaciones y relaciones culturales fue la tipología y la semejanza formal de los objetos. El difusionismo basó sus esfuerzos en identificar los elementos que probasen las relaciones con los focos culturales originarios, expresando el contacto subordinado entre culturas. En ambos casos, semejanza formal e identificación de elementos exóticos, únicamente se emplearon criterios visuales de identificación. Pero el reconocimiento visual de esas materias exóticas no permite afirmar con seguridad su lugar de procedencia, y por tanto establecer las rutas de movilidad de esos elementos, aunque mayoritariamente se ha asumido como plausible la localización más cercana conocida. Sin embargo, otro gran conjunto de materias primas no pueden ser reconocidas como foráneas a través de la observación visual, y requieren de estudios de identificación y caracterización. Entre ellas, el caso del metal es especialmente significativo.

En consecuencia, determinar la procedencia de los diversos materiales utilizados por el hombre tuvo inicialmente dos carencias graves: la ausencia de caracterización del material que permitiera discriminar recursos diferentes y asignar los casos a cada uno de ellos según esa caracterización, y la ausencia de estudios geográficos y geológicos de distribución de materias primas desde la perspectiva prehistórica.

La primera carencia empezó a ser superada con la aplicación de métodos científicos a partir sobre todo de la Segunda Guerra Mundial. El desarrollo de técnicas de análisis aprovechando las propiedades físicas de la materia, no sólo en el campo de la datación, permitió empezar a intentar establecer caracterizaciones de cada uno de los materiales arqueológicos (especialmente líticos, cerámicos y metálicos) con éxito dispar.

El perfeccionamiento de los métodos analíticos, el desarrollo de otros nuevos y la aplicación de técnicas estadísticas multivariantes han ido refinando la fiabilidad de los resultados y superando los problemas metodológicos iniciales.

La segunda carencia, conocimiento de la distribución de las materias primas, sólo empezó a ser tratada a partir de la denominada Nueva Arqueología y en cuanto la investigación pasó del plano del yacimiento al estudio del territorio y a la prospección con finalidad arqueológica, orientando una parte de ese esfuerzo a la identificación de los recursos naturales disponibles. Un buen ejemplo de este cambio de orientación en los planteamientos se aprecia en el tema de la procedencia del estaño empleado en el Próximo Oriente durante el III y II milenio aC. Las diferentes hipótesis planteadas admitían la visión actualista de la ausencia de recursos en la región y en las vecinas, lo que exigía un comercio a muy larga distancia para obtener el metal. En la actualidad los trabajos de prospección que se realizaron en Afganistán y la identificación de minería prehistórica en Kestel (Turquía), hacen innecesarias y erróneas las hipótesis anteriores, que llegaban a involucrar a la Península Ibérica y a Inglaterra en el comercio de estaño de esos periodos.

Reconocer los elementos foráneos y la procedencia lejana, sin embargo, no es más que una parte del problema, ya que es necesario explicar los mecanismos que sustentan ese intercambio y las causas que lo producen. Con ello entramos en una dimensión diferente a la que abordan los estudios de caracterización, que se enmarca en la dinámica social y económica del grupo, y que permite explicar y entender los resultados de la caracterización.

Aunque se produzcan relaciones de intercambio entre individuos de una misma comunidad es difícil reconocerlas al compartir el mismo espacio geográfico y tener acceso a las mismas materias. Por ello, arqueológicamente, las relaciones de intercambio, en sus distintas formas de expresión, se tratan mayoritariamente entre comunidades vecinas, y normalmente hacen referencia a recursos muy concretos. Se suele hacer distinción entre intercambios inter e intra-regionales, alcanzando el nivel de larga distancia en aquellos casos donde se llegan a superar varias zonas intermedias ya sea mediante intercambios diferidos, en cadena o por comercio.

El estudio de los sistemas de intercambio y su influencia en el desarrollo de las sociedades complejas del pasado ha sido ampliamente abordado por diferentes investigadores, por ejemplo los contenidos en el libro editado por Brumfield y Earle (1987), bajo distintos modelos de interpretación: modelo de desarrollo comercial, modelo adaptativo y modelo político. En la actualidad se pueden distinguir dos grandes categorías en los modos de intercambio:

Comerciales, donde priman las razones económicas del intercambio.

Ceremoniales, donde priman las razones sociales del mismo.

Esta dicotomía, por ejemplo, está bien representada en la interpretación de los depósitos metálicos del Bronce Final europeo, ya que unos se explican como escondrijos de materiales acumulados por mercaderes o metalúrgicos itinerantes que comercian con ese metal y otros son deposiciones ceremoniales y rituales de distinto tipo (Bradley 1985, 694).

En esta diferenciación de categorías es importante determinar las características de los bienes intercambiados, es decir, si tienen un carácter subsistencial, instrumental (funcional) o ceremonial (ornamental y simbólico). Sin embargo, un mismo tipo de objeto puede cambiar su función dependiendo del carácter de la transacción y

de la distancia social entre los participantes en la misma (Gregory 1994; Bradley 1985).

Renfrew señalaba en su artículo "Trade Beyond the material", introductorio al congreso "Trade and exchange in Prehistoric Europe" de 1992, la necesidad de utilizar el concepto de intercambio en un sentido amplio, pasando mas allá de la esfera material, ya que el transporte o desplazamiento de materiales no puede ser correctamente interpretado si no nos fijamos en el contexto general de las intereracciones humanas donde se integra. El intercambio, por tanto, como lo definía Mauss (1950) es un fenómeno social total.

Los sistemas de intercambio no generan únicamente la presencia de objetos materiales, sino que implican intercambios de información a distintos niveles (sociales, políticos, ideológicos), por eso constituyen un elemento importante en la investigación en los desarrollos de complejidad social. Como indicaban Earle y Ericcson (1977, 3) los estudios antropológicos sobre el intercambio se han concentrado en las interrelaciones entre la transacción de materiales y las organizaciones sociales.

Comprender el intercambio de bienes exige una observación del registro en tres niveles de acción:

1.- La producción del objeto o extracción de la materia prima. Depende de si se trata de materia prima en bruto, semi-elaborada o elaborada. Interesa determinar el lugar donde se elabora y quién lo elabora.

2.- La distribución, es decir la acción de intercambio. Determinar qué se intercambia, el alcance y cantidad de los elementos distribuidos, así como las vías y mecanismos de distribución. Preguntarse quién lo distribuye obliga a plantear el tema del control de esos mecanismos y el poder generado por ese control.

3.- El consumo de ese material intercambiado o, lo que es lo mismo, la función que explique la necesidad del mismo, quién lo usa y para qué lo usa. Las respuestas están determinadas por el valor adscrito que se otorga al objeto o al material, y por su significado.

En este esquema la caracterización del material es sólo una parte. La parte inicial que determine lo que es autóctono o alóctono, lo que se distribuye y desde dónde se distribuye, es condición necesaria pero no suficiente para comprender la estructura social en la que se enmarca.

En este artículo se va a abordar el problema general de la caracterización analítica de los metales y el estado actual de la investigación en la Península Ibérica, con la presentación de algunos ejemplos concretos.

CIRCULACIÓN DEL METAL

Las investigaciones sobre intercambio de metal en la Prehistoria reciente han seguido en general los mismos pasos que los desarrollados para otras materias primas. La complejidad tecnológica de la metalurgia le confería un carácter especializado y la escasez de recursos en determinadas zonas lo convertían en un elemento propicio para ser comerciado, más aún teniendo como prueba las referencias de los textos recuperados en las culturas del Próximo Oriente

Los intentos de caracterización a través de su composición presentan unas particularidades diferentes al resto de materiales, especialmente líticos. La metalurgia es un proceso de transformación química, es decir, el producto inicial y final no son idénticos, lo que exige conocer qué cambia y cómo cambia para poder establecer vínculos de relación entre ambos. En el material lítico las características de la materia prima se mantienen en la roca y en el objeto elaborado a partir de ella. Con el metal no contamos con ninguna referencia externa que nos indique el tipo de mineral de partida. Por tanto, la búsqueda del origen en los objetos de piedra puede iniciarse desde las características físicas del objeto elaborado, cosa imposible para rastrear el origen del metal.

Dos son las técnicas empleadas para lograr la caracterización del metal:

1- Mediante la composición de sus elementos.

2- Mediante las relaciones de isótopos de plomo, esta última de más reciente aplicación.

CARACTERIZACIÓN MEDIANTE COMPOSICIÓN

La idea de identificar el origen geográfico del mineral utilizado en la obtención de metal se encuentra en autores de la segunda mitad del siglo XIX, como von Bibra, von Fellenberg y Wibel, aunque el trabajo más antiguo que se cita es el de Göbel de 1842 basado en los resultados de 120 análisis de metales del área báltica (Pernicka 1998, 259; 1999). Sin embargo, las recopilaciones de análisis de objetos de metal apenas tuvieron incidencia en la investigación ya que se realizaban de manera poco sistemática. Este sería el caso de las investigaciones de Siret (1890; 1913) con materiales de la Península Ibérica. Su finalidad era la descripción tecnológica del material en función de su aleación, detectándose únicamente los elementos principales y algunas impurezas.

Podemos considerar que el primer intento serio de relacionar el metal con fuentes de procedencia concretas fue el publicado por Peake en 1928: planteaba la identificación de la tierra del cobre de Magán, mencionada en los textos mesopotámicos, con las minas de cobre del actual Sultanato de Omán. Su argumentación se apoyaba en la presencia de impurezas significativas de níquel en objetos procedentes de los yacimientos de Ur y Kish, así como en objetos de finales del II milenio aC de Bahrein. Los minerales comparados en el estudio de Peake, procedentes de Anatolia, Persia y Chipre, no contenían impurezas de níquel. En cambio, los minerales de cobre de Jebel al Ma'adan en

Omán, lugar en el que se reconocían labores mineras y escorias antiguas, presentaban una proporción Cu/Ni de 8/1. Esta primera aproximación analítica, aunque empleaba información de diversas localidades tanto de minerales como de objetos, estaba basada en un muestreo muy reducido. Sin embargo, trabajos recientes, como el de Berthoud y otros (1980) y el de Prange y otros (1999), han confirmado la utilidad del níquel como un elemento caracterizador del mineral de Omán y la validez parcial de la hipótesis de Peake.

El cambio de orientación se produce a partir de los años 30 con la creación de *corpus* analíticos y el desarrollo de la espectrometría de emisión óptica como nueva técnica de análisis frente a la tradicional vía húmeda. El trabajo de Otto y Witter (1952) representó el primer gran *corpus* de objetos europeos analizados, y en él se planteaba la relación entre algunos metales y mineralizaciones concretas. Las recopilaciones de análisis en los años 50 y 60 se realizaron en otros laboratorios como en Viena (Pittioni 1959), Stuttgart (Junghans *et alii* 1960, 1968, 1974) o Moscú (Chernij 1966). Todos estos grandes programas de análisis tenían como objeto principal los estudios de procedencia (Pernicka 1998, 260). Estos primeros intentos a gran escala ignoraron las características del mineral y las grandes variaciones de composición que existen dentro de una misma mineralización, y no valoraron correctamente los cambios que se producen en el paso entre mineral y metal. El proyecto de Stuttgart, el más importante de todos ellos, publicado en varios volúmenes dentro de la serie conocida como SAM, explicitaba su idea (Sangmeister 1960) de que sólo existían unos cuantos talleres regionales que permitirían reconocer el comercio de las manufacturas en la Prehistoria europea y cada una de ellas sería identificable por las características de su composición, consecuencia de la diferente materia prima utilizada en cada caso.

En sus planteamientos no era necesario conocer las características del mineral, ya que las mismas deberían quedar reflejadas en la composición del objeto, siendo éste el único elemento de interés analítico. Cada zona debería tener sus propias características generales diferentes de otras áreas y podría identificarse el lugar de procedencia de los materiales foráneos. Sin embargo, cuando el volumen de análisis fue confirmando la variabilidad de composiciones posibles y las semejanzas entre zonas geográficamente separadas y / o cronológicamente distintas, la asignación de materiales concretos a los grupos de clasificación establecidos se mostró confusa e incoherente para definir el comercio de metal en la Prehistoria europea.

El relativo bajo número de elementos analizados, la poca precisión en su determinación cuantitativa, junto a errores de clasificación de muestras y un estudio estadístico simplificado en grupos según mayor o menor presencia de elementos mayoritarios, fueron sus carencias. Pero quizás el principal defecto de base fue la hipótesis de partida, impregnada de una fuerte base difusionista.

La realidad se mostró mucho más compleja, ya que los recursos minerales utilizados fueron mucho más diversos de lo esperado, y el bajo número de elementos detectados no permitía hacer grandes discriminaciones. En este contexto de desinterés sobre el mineral se explica la aceptación generalizada de la intencionalidad en la producción de los cobres arsenicados. Este fracaso de caracterización del metal para determinar los mecanismos de intercambio condicionó toda la investigación posterior y provocó el descrédito de los análisis de composición, con críticas muy duras (Coles 1982; Butler / Van der Waals 1964; Boomert 1975).

Los trabajos experimentales de Tylecote y Boydell en los años 70 (Tylecote / Boydell 1978; Tylecote *et alii*, 1977) o los de Merkel (1982) en los 80, sobre los procesos de transformación del mineral a metal ofrecieron nuevos datos sobre las variaciones en las composiciones del mineral y el grado de relación entre mineral y metal después del proceso metalúrgico. Estos experimentos permitieron determinar la diferente calidad informativa de cada uno de los elementos detectados en los análisis y orientaron sobre el manejo adecuado de las impurezas presentes en los metales prehistóricos. Solamente haciendo caso al mineral de origen y a los restos arqueológicos de transformación pudieron empezar a plantearse trabajos más solventes. En esta línea se encuentra el estudio de la metalurgia de Almizaraque, en el que por vez primera en Europa se estudiaron de manera sistemática los restos de transformación y producción, incluyendo minerales, y además se analizaron los recursos minerales del entorno (Montero 1994), definiendo lo que Chapman (1999) recientemente ha denominado como "modelo Almizaraque".

Los estudios de composición, aunque criticados, empezaron a recuperar su validez para contrastar hipótesis generales de procedencia a través de estudios regionales como es el caso de las minas de Cabrieres y la producción metalúrgica del Languedoc (Ambert *et alii* 1984; 1998), donde la asociación Ag y Sb de las explotaciones mineras prehistóricas concordaban mayoritariamente con altas impurezas de esos elementos en las composiciones de objetos de la zona. También se realizaron estudios más locales sobre modelos de impurezas aprovechando los análisis del SAM, como los trabajos de Liversage (1991) para Dinamarca o de Krause y Pernicka (1996) en Centroeuropa, o se plantearon estudios de evolución temporal como los de Northover (1982) para definir las fases del Bronce Final en Inglaterra, observando cambios en los modelos de impurezas.

Así, mediante comparaciones de valores de tendencia central se empezaron a alcanzar resultados positivos en aquellos yacimientos arqueológicos con mues-

treo suficientemente numeroso. Bajo esta perspectiva el análisis individual apenas cuenta, ya que es el conjunto el que define las características. Los casos claramente separados pueden valorarse como elementos intrusivos.

Las series amplias de composiciones y los estudios de los restos metalúrgicos permiten marcar diferencias regionales en la producción, aunque el acercamiento a la identificación de fuentes concretas de abastecimiento no es posible por la falta de resolución de los datos que se manejan. Ni siquiera con los estudios de minas prehistóricas se puede asegurar con total fiabilidad qué materiales proceden de esas minas en función de la caracterización compositiva.

CARACTERIZACIÓN POR ISÓTOPOS DE PLOMO

Dentro de las crisis de caracterización del metal en los años 70 cabe enmarcar el auge y aceptación de los análisis con isótopos de plomo como alternativa fiable a los análisis de composición. Aunque los primeros trabajos de isótopos de plomo sobre material arqueológico aplicados a vidrios (Brill 1969), objetos de plomo (Brill / Wampler 1967) o monedas de plata (Brill / Shields 1972), datan de los años 60, no es hasta la década de los 80 y desde el Isotrace Laboratory de Oxford dirigido por Noel Gael y Sophia Stos-Gale cuando se empiezan a generalizar sus aplicaciones, esencialmente a objetos metálicos de la Prehistoria del área Mediterránea. Estos estudios pretendían relacionar las producciones metálicas con las fuentes de abastecimiento de mineral y comprender el comercio de la época (por ejemplo Gale *et alii* 1985; Gale / Stos-Gale 1986 y 1989). Desde fines de los 80 y a lo largo de los 90 se han ido incorporando diferentes grupos de investigación que utilizan los isótopos de plomo, como los de la Universidad de Bradford, el Instituto Max Planck de Heidelberg, o la Smithsonian en USA, en sus investigaciones sobre las diferentes culturas metalúrgicas del mundo (Próximo Oriente, Europa occidental, América, India...). La tendencia a la aplicación generalizada de este tipo de análisis queda patente en el Congreso celebrado en Boston en 1997 (Young *et alii* 1999): de los 43 trabajos publicados, en 9 se usan datos sobre isótopos, aunque en realidad si eliminamos los trabajos dedicados al hierro o al oro, donde su aplicación todavía no está desarrollada, la proporción sería de 1/3 de artículos que tratan o incorporan información sobre isótopos.

Junto a esa generalización, desde principios de los 90 han surgido voces discrepantes sobre la fiabilidad del método, los resultados obtenidos, y su interpretación, en gran parte dirigidas contra el grupo de Oxford que ha mantenido la primacía como laboratorio pionero. Antes de entrar en las críticas a la técnica, es conveniente explicar brevemente los principios en los que se basa.

El plomo tiene una amplia variedad de isótopos que son resultado de la desintegración de los elementos radioactivos. Todas las series de transformación de esos elementos radiactivos terminan en un isótopo estable de plomo, pero el tiempo transcurrido en esa transformación es diferente para cada uno de ellos.

La técnica de isótopos de plomo establece la relación o proporción entre los isótopos Pb-208 (procedente del torio), Pb-207 (procedente del actinio, que a su vez procede del U235), Pb-206 (procedente del uranio 238) y Pb-204 (isótopo natural).

La proporción de isótopos varía según la combinación de dos factores: en primer lugar por la edad del depósito ya que, como se ha indicado, los tiempos de transformación de las tres series son distintas; en segundo término, por la cantidad original presente de cada uno de los elementos radioactivos en el magma de formación de la mineralización, ya que a mayor cantidad de átomos de un elemento se produce un mayor número de isótopos de plomo finales en su serie de transformación.

La relación establecida para una mineralización no tiene un valor fijo, sino que presenta variaciones producto de las diferencias de concentración en el depósito, y constituye lo que se denomina campo isotópico.

El principal problema que limita la eficacia de esta técnica para identificar con seguridad el origen de la materia prima utilizada en un metal es la discriminación real entre todas las posibles fuentes de materia prima, ya que existen solapamientos más o menos completos entre mineralizaciones formadas en una zona concreta durante el mismo periodo geológico.

El empleo de los isótopos de plomo requiere una investigación exhaustiva de las mineralizaciones existentes en la zona de estudio para tener la seguridad de que la relación que se establece entre metal y materia prima es correcta. Este trabajo significa un gran esfuerzo que resulta difícil de completar a corto plazo, especialmente en regiones ricas como la Península Ibérica.

En general, se acepta que el método tiene mayor grado de fiabilidad en el sentido negativo, es decir, si una muestra no queda incluida en el intervalo establecido para una mineralización se puede suponer que no procede de ella.

Los principales temas que están o han estado bajo discusión para fijar la validez de la técnica en la identificación del mineral empleado en un metal han sido:

El fraccionamiento

Es decir, si la relación isotópica se ve alterada durante los procesos metalúrgicos. El equipo de Bradford (Budd *et alii* 1996) planteó la necesidad de aclarar el tema. Sin embargo sus dudas han quedado despejadas en las publicaciones de Gale y Stos-Gale (1996) y de Macfarlane (1999) donde se justifica que no se produce una evaporación significativa de plomo durante la reducción

del metal, ni en las sucesivas fundiciones, que pueda alterar esas relaciones debido a una mayor facilidad de evaporación de los isótopos ligeros. Es un tema, sin embargo, que afecta a la propia técnica de análisis, especialmente en el proceso de ionización térmica de medida, que debe ser corregida mediante el control con patrones.

Delimitación de los campos isotópicos

Son varios los aspectos debatidos. En primer lugar, determinar el número de muestras necesario para caracterizar una mineralización de manera fiable. Se menciona el número de 20, pero en la mayoría de los casos esto no se cumple. La segunda cuestión es cómo realizar un muestreo representativo de las diferentes zonas de una mina (Baxter *et alii* 2000). En tercer lugar se discute la validez de la caracterización de los depósitos de cobre a través únicamente de muestras de galena, sulfuro de plomo, que aparecen en paragénesis. Aunque teóricamente no suele haber grandes diferencias entre las galenas y los minerales de cobre asociados sería preferible trabajar con los minerales de cobre, ya que existen algunos casos anómalos, incluso de variación entre las formaciones primarias y secundarias de un depósito. Ixer (1999, 44) indica que una mineralización de cobre puede ser distinta en edad y composición que una de plomo-zinc próxima a ella, con un resultado isotópico diferente, como en el caso de Great Orme. Es importante determinar la zonación y la paregénesis de una mineralización, como se ha planteado también para el caso de las minas prehistóricas de Ross Island, Irlanda (Ixer 1999).

Anomalías en los campos isotópicos

Se producen en mineralizaciones radiogénicas y presentan valores de distribución amplios y caóticos, que impiden definir un campo isotópico concreto, como consecuencia de la presencia de elementos radioactivos. Además, también se han detectado depósitos minerales con varias fases genéticas de formación que pueden proporcionar dos o tres campos para una misma mina. Estas circunstancias no son tan excepcionales como inicialmente se creía, ya que se han constatado anomalías radiogénicas en minas con explotación prehistórica documentada como Great Orme (Gales) o Mount Gabriel (Irlanda) (Rohl / Needham 1998: 33-34) y varias fases genéticas se han detectado también en las minas Ross Isalnd (Irlanda) o las de La Sultana y Cala en la provincia de Sevilla (Hunt 1998).

Representación gráfica

Un problema añadido a la delimitación de campos isotópicos es la manera de representarlos gráficamente. Todo análisis ocupa una posición dentro de un espacio tridimensional. La forma de delimitar la distribución real de un depósito mineral se hace mediante elipses en una doble representación bidimensional. Esta lectura plana puede mostrar solapamientos que con una perspectiva rotada no lo son, y por ello no se considera como la forma más adecuada de presentar los datos. Se han hecho algunos intentos mediante análisis discriminante, con buenos resultados, aunque todavía no se ha aceptado de manera generalizada al considerarse que el análisis discriminante es útil cuando se trabaja con un amplio número de variables, mientras que los datos isotópicos configuran únicamente tres dimensiones (Rohl / Nedhamm 1998, 35).

Influencia de los elementos aleados

El estaño no constituye en principio problema porque la cantidad de plomo que aporta al metal es significativamente pequeña, en torno a una centésima parte del contenido en el cobre, por lo que la distorsión que genera en la relación isotópica es mínima, quedando dentro de los márgenes de error de la propia técnica. El caso del plomo en las aleaciones ternarias es diferente, ya que la cantidad añadida de plomo es muy superior a la que normalmente contiene el cobre, por lo que en porcentajes superiores al 3 % de Pb los isótopos están indicando preferentemente el origen del plomo aleado.

Además de todas estas cuestiones existe un problema de interpretación, todavía no bien resuelto en ciertos casos, como es el reciclado del metal. La reamortización de metal, es decir, la refundición y mezcla de metales de orígenes diferentes genera una relación isotópica distinta a cualquiera de las mineralizaciones originales de procedencia, quedando mas o menos próxima a cada una de ellas en función de la mayor o menor proporción de metal presente en la mezcla y de la mayor o menor cantidad de plomo en la fuente de origen, teniendo más peso en el resultado final el que más aporte. El reciclado de materiales de una única procedencia no genera problemas, pero la diversidad de abastecimiento no es una excepción en la Edad del Bronce[1]. Por tanto, sería más correcto, ante todas estas cuestiones, en aquellos casos en que el resultado quede fuera del intervalo establecido para una mineralización, considerar que al menos una parte del metal no procede de ella.

1.- Así lo demuestran los análisis de composiciones en yacimientos de Madrid o en la Bauma del Serrat del Pont (Girona) (Montero 1998 a) y los análisis isotópicos de Amarguillo (Sevilla) y Trastejón (Huelva) ya sea en la misma fase o en fases sucesivas (Hunt 1998).

La investigación, según proponen Budd y otros (1996, 172), debería reorientarse, ya que la obsesión por conocer el origen concreto del metal no es el único camino para estudiar el uso y producción de los metales en la antigüedad, y consideran que la detección de cambios en los modelos de obtención y empleo del metal puede ser más útil e ilustrativo.

Esta línea es la que se plantea el trabajo de Rohl y Needham (1999) sobre la metalurgia en las Islas Británicas, combinando la información de las composiciones y los isótopos de plomo. Su estudio pretende reconocer las variaciones de abastecimientos en el tiempo a escala regional, prescindiendo de asignaciones concretas ya que existe un gran número de recursos de cobre que requerirían un esfuerzo ingente de documentación y además con solapamientos en los campos isotópicos. Paralelamente se está trabajando en la propuesta de modelos para explicar los datos de caracterización que incluyen la propia distribución de elementos, pero también aproximaciones a los sistemas de valor de los materiales con sus modos de producción y consumo. Los trabajos más directamente implicados en esta línea son los de Needham (1993 y 1998).

CARACTERIZACIÓN DEL METAL EN LA PENINSULA IBÉRICA

ANÁLISIS DE COMPOSICIÓN

Al margen de los datos integrados en el proyecto europeo del Landesmuseum de Stuttgart (Junghans *et alii* 1960; 1968; 1974), afectados por los errores ya comentados, el principal intento de caracterización metalúrgica mediante composición son los análisis realizados por el Proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica. Los principios que han orientado la investigación sobre circulación y comercio del metal asumen desde el principio las limitaciones que los datos de composición tienen, pero ello no ha impedido la formulación de algunas hipótesis generales basadas en rasgos y tendencias de los elementos mayoritarios y minoritarios.

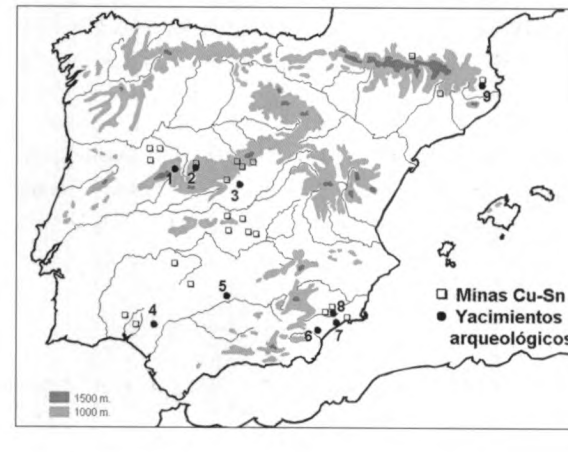
Se ha defendido principalmente el uso de recursos locales y una amplia diversidad de mineralizaciones aprovechadas en las diversas regiones peninsulares. Estos estudios se han realizado con distintos niveles de aproximación dependiendo de la información disponible y mediante comparaciones entre:

1. Las características de las mineralizaciones de cobre de un entorno geográfico y los restos de minerales arqueológicos de la misma zona.
2. Las características de las mineralizaciones y los modelos de impurezas a partir de series de materiales metálicos de yacimientos.
3. Modelos de impurezas de series de análisis de yacimientos o regiones.

La fiabilidad y precisión de las conclusiones depende de los elementos que se comparan. Así, en el estudio de minerales procedentes de contextos arqueológicos además de la composición de los mismos, que puede compararse de manera directa con los resultados del muestreo de minerales de mina, el tipo de ganga ayuda a una más correcta identificación de procedencia. Cuando además se pueden estudiar de forma conjunta los restos de fundición y los objetos elaborados, las relaciones que se establecen son mucho más seguras que a partir únicamente del objeto. En este último caso hay que tener en cuenta los cambios que se producen en el proceso de transformación. Estos cambios son muy variables y dependen en gran medida de las condiciones tecnológicas de reducción y fundición. Por ello no se puede establecer una comparación directa entre las composiciones de las mineralizaciones estudiadas (Montero 1998b) y la obtenida de objetos metálicos. Los modelos de impurezas de las series de análisis de yacimientos pueden ayudar a diferenciar producciones, pero difícilmente son determinantes para concretar la procedencia exacta de la materia prima.

Además de los ejemplos publicados y sintetizados en Montero (1998a) se han identificado recientemente otros casos que inciden en confirmar la tendencia al aprovechamiento de mineralizaciones locales. Así, no es casualidad que exista una clara relación espacial entre las zonas de la geografía peninsular donde se identifican minerales complejos de cobre-estaño y la ubicación de los yacimientos arqueológicos donde los diferentes restos, ya sean minerales u objetos, indican el empleo de minerales de este tipo (Fig. 1) durante la Edad del

Figura 1. Yacimientos arqueológicos de la Edad del Bronce con presencia de aprovechamiento de minerales Cu-Sn y distribución de mineralizaciones del mismo tipo conocidas según la información geológica y analítica. Yacimientos: 1, La Corvera; 2, Aldeagordillo; 3, Villaviciosa de Odón; 4, Algarrobillo, 5, Llanete de los Moros; 6, Fuente Alamo; 7, Ifre; 8, Rincón de Almendricos; 9. Bauma del Serrat del Pont.



Bronce. En determinados casos como los estudios de la zona abulense (Fernández Manzano *et alii* 1997) o del yacimiento de la Bauma del Serrat del Pont en Girona (Alcalde *et alii* 1998) la proximidad geográfica de las minas de cobre es muy clara.

Un segundo ejemplo de cronología más reciente, basado en la comparación de las composiciones de las mineralizaciones con modelos de impurezas en objetos, lo encontramos en la provincia de Toledo. Los objetos de base cobre analizados de la necrópolis ibérica de Palomar de Pintado (Villafranca de los Caballeros) presentan valores altos de impurezas de antimonio y plata, que no se registran en otras necrópolis o yacimientos contemporáneos y geográficamente próximos como Las Esperillas o Cerro de las Nieves. Por ello es interesante llamar la atención sobre las características de la mineralización de Camuñas 3, la única de las estudiadas en la provincia de Toledo que reúne impurezas altas tanto de plata como de antimonio (Montero *et alii* 1990). La proximidad entre mina (Camuñas 3) y necrópolis (Palomar de Pintado), apenas 10 km, hace bastante factible que pudieran haberse aprovechado estos minerales en época ibérica, con una manufactura local de ciertos elementos metálicos en el poblado relacionado con la necrópolis. En la zona de Camuñas existen otras minas que no han podido ser caracterizadas por haber desaparecido. Cualquiera de ellas podría ser la explotada en época ibérica, y no necesariamente la identificada con el número 3.

Los análisis de composición permiten suponer la existencia de elementos metálicos intercambiados, pero en proporción relativamente baja dentro de los principales conjuntos, considerando el marco intrarregional como el más probable para la circulación de elementos metálicos. Las limitaciones del método son elevadas para cuantificar la verdadera proporción de material intercambiado dada la similitud de muchas producciones que utilizan mineralizaciones muy similares. Unicamente son distinguibles aquellos rasgos que se alejan claramente de las tendencias centrales de los modelos de impurezas, o por la presencia de elementos ausentes en ellos. Quizás el ejemplo más ilustrativo hasta la fecha lo constituyan las cuevas de Gobaederra y de Los Husos con el níquel como impureza guía (Montero / Rodríguez de la Esperanza 1997). En ambos yacimientos vascos tan solo uno de los objetos analizados de cada yacimiento muestra una composición diferente a la del resto del conjunto y permite suponer un origen diferente. En estos casos significaría que únicamente entre el 7 y el 11 % del material es foráneo, aunque no se trataría de procedencias lejanas. Esta situación no es necesariamente aplicable a otras regiones peninsulares, ya que los desarrollos culturales en cada una de ellas son muy diversos (Delibes / Montero 1999).

Las series de análisis de composición permiten observar diferencias regionales en los modelos de impurezas hasta el Bronce Tardío, que se vinculan con el aprovechamiento de los recursos locales regionales. Sin embargo, este panorama se desvanece a partir del Bronce Final. Las causas de este cambio todavía no están suficientemente investigadas y pueden deberse tanto a un aprovechamiento menos diversificado de recursos minerales de cobre como a un aumento del metal reciclado.

Figura 2. Valores medios (% en peso) de plata y antimonio de los materiales de base cobre de yacimientos ibéricos y de los minerales de Camuñas.

Localidad	Ag	Sb
Palomar de Pintado	0,456	0,38
Las Esperillas	0,026	0,08
Cerro de las Nieves	0,016	0,04
Mina Camuñas 3	2,86	9,01

ISÓTOPOS DE PLOMO

Estas hipótesis desarrolladas a partir de los datos de caracterización mediante composición se oponen a visiones de un mayor control y especialización en la producción metálica y una limitación de los recursos explotados, creando modelos de dependencia jerárquica en su distribución como las basadas en formaciones estatales defendidas para el Sureste (Castro *et alii* 1999) y Suroeste (Nocete 2001).

Se ha empezado a intentar la contrastación o refutación de las mismas aplicando la técnica de análisis de isótopos de plomo. Sin embargo, en la arqueología de la Península Ibérica los datos disponibles son todavía escasos, y los avances de los primeros estudios realizados pueden generar cierta confusión si se interpretan sin suficiente rigor crítico.

El primer intento de trabajar con materiales peninsulares parte del Proyecto Gatas en el Sureste peninsular, colaborando con el Isotrace Laboratory de Oxford. Los resultados de isótopos de plomo se componen de 30 análisis de objetos y 58 de minerales de 9 procedencias (Stos-Gale *et alii* 1999). La información divulgada sobre estos análisis antes de la publicación de los mismos indicaba que según los isótopos de plomo las comunidades argáricas probablemente se abastecían del mineral del área de Linares, y por tanto existía un comercio no especificado, de materia prima o metal en bruto, desde el área jiennense, que además justificaba la denominada expansión argárica hacia tierras interiores:

> "Los resultados preliminares de los análisis de isótopos de plomo indican que el mineral utilizado para los objetos estudiados de Gatas y Fuente Alamo no

procede de los afloramientos de la fachada litoral almeriense y murciana. Como probable área de origen se sugiere la zona de Linares (Jaén), aunque todavía no pueden excluirse áreas más occidentales de Andalucía". (Lull / Risch 1995, 106).

"Los resultados preliminares de los análisis de isótopos de plomo apuntan a que el mineral utilizado para los objetos estudiados de Gatas y Fuente Alamo no procede de los afloramientos de la fachada litoral almeriense y murciana, por otra parte extensamente muestreados. Como probable área de origen se sugiere la zona de Linares (Jaén), aunque todavía no pueden excluirse áreas más occidentales de Andalucía". (Castro *et alii* 1998, 61).

El segundo grupo de análisis procede del SW dentro de los trabajos realizados por Mark Hunt, también en el Isotrace Laboratory de Oxford, presentados en su tesis doctoral defendida en la Universidad de Sevilla en 1998 y parcialmente publicados en algunos artículos (Hunt 1998, 2001; Hunt / Hurtado 2001). En esta zona existían algunos precedentes sobre análisis en escorias de plata de Río Tinto (Craddock *et alii* 1985) y de Monte Romero (Kassianodou 1992). La tesis de Hunt incorpora 95 análisis de materiales arqueológicos (52 de ellos dedicados al tema de la plata en el Bronce Final y Periodo Orientalizante) y 62 de minerales de la zona. Para la edad del Bronce no se encuentran correspondencias claras y concretas, pero en ocasiones pueden establecerse relaciones con las zonas mineralógicas estudiadas. Se observa la diversidad de recursos utilizados, sin pretender establecer relaciones precisas con minas concretas, y se incide en la necesidad de un mayor trabajo de caracterización de minas.

El último conjunto procede de la isla de Menorca. Se trata de 30 análisis de piezas de metal de los ajuares de tres cuevas sepulcrales cuyas composiciones han sido estudiadas también en Oxford (Stos-Gale 1999). Aquí se insiste en vincular los materiales menorquines al área del Suroeste, una de las grandes áreas mineras de la antigüedad, sin caracterizar siquiera los recursos minerales disponibles en la isla (Rovira *et alii* 1991) que permitan al menos descartar su uso justificadamente.

Por último, en el III Congreso Nacional de Arqueometría se presentaron unos primeros resultados de estudios de la zona relacionada con el yacimiento de Cabezo Juré en Huelva por parte del equipo de Nocete, que no han aparecido publicadas en las actas (Gómez Tubio *et alii* 2001).

La interpretación de los resultados disponibles observados en su conjunto resulta compleja (Fig. 3). Stos Gale (2001) reconoce lo limitado de la información disponible para llegar a una adecuada identificación y caracterización de los recursos minerales de cobre en la Península Ibérica, dada la existencia de un amplio rango de relaciones isotópicas. Sin embargo, insiste de

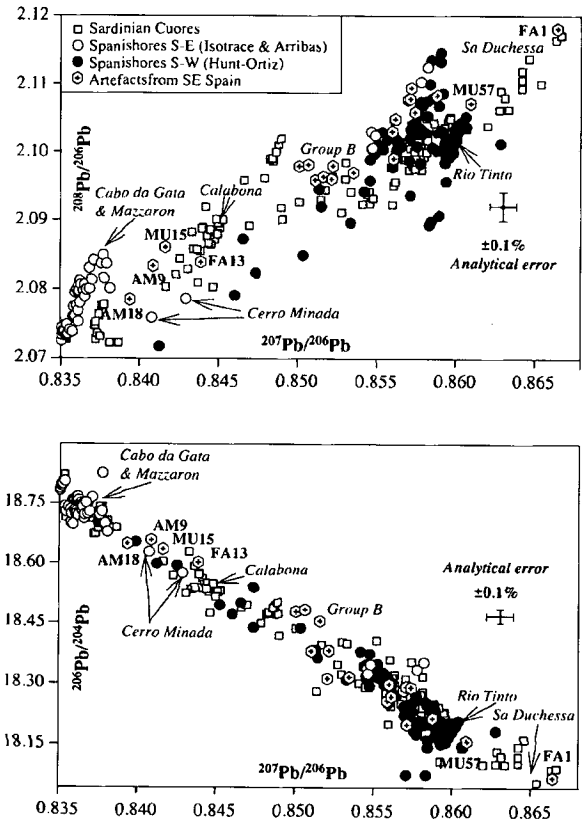


Figura 3. Distribución de análisis de isótopos de plomo de minerales de la Península Ibérica y objetos del SE según Stos-Gale (2001).

manera intencionada en tratar de marcar diferencias entre las regiones del SE y SW, indicando que los minerales del Sureste presentan valores inferiores al 0,84 para la relación Pb207 / Pb206, situándose los del SW entre 0,84-0,863 (Stos-Gale 2001: 447). Ello le lleva a plantear la vinculación de los materiales de Menorca, y en menor medida de los análisis del Sureste con las mineralizaciones del Suroeste. Sin embargo, las diferencias entre ambas zonas meridionales de la Península no son tan claras y existe un relativo solapamiento entre ambas. Resulta dudosa la eliminación de los datos de Sierra Alhamilla, con valores próximos a los del SW, argumentando que proceden de minerales de Pb-Zn, ya que el resto de las caracterizaciones corresponden principalmente a minerales de plomo y no de cobre. Además, la relación isotópica Pb207 / Pb206 en la Sierra de Gador también es superior al 0,84, y lo mismo ocurre con las minas de los distritos jiennenses de Linares y La Carolina con las series de datos más amplias realizadas en Estados Unidos (Hunt 1998) y en Italia (Trincherini *et alii* 2001). Al mismo tiempo algunos datos de minas del SW como Cala en Sevilla presentan campos isotópicos que parcialmente se aproximan a las consideradas características del SE. Entre los meta-

les analizados, aunque de forma minoritaria, se encuentran casos en ambas regiones de valores inferiores al 0,84, como por ejemplo para el SW en La Pijotilla (Hunt/Hurtado 2001). En consecuencia no parece acertado, en el actual nivel de información, marcar esa diferenciación regional que Stos-Gale pretende detectar.

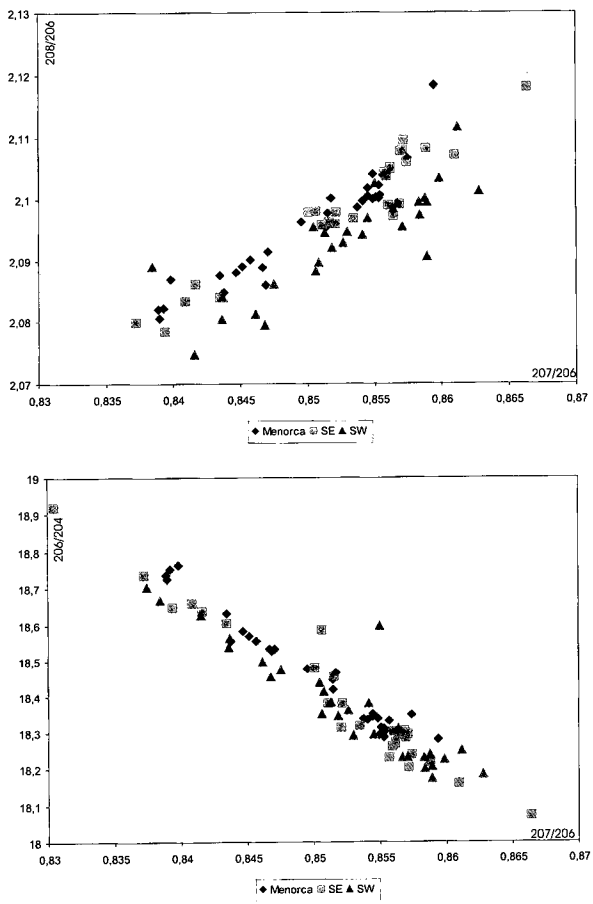
Un segundo punto conflictivo en los resultados de isótopos de plomo lo encontramos con las mineralizaciones de Cerdeña y Liguria. Stos-Gale (2001, 454) señala la posibilidad de que materiales argáricos pudieran tener esa procedencia, aunque reconociendo como probable la existencia de mineralizaciones del Sureste ricas en uranio no caracterizadas todavía. Este mismo planteamiento de relación con Cerdeña se encuentra en los resultados de un grupo de materiales de la Ría de Huelva (Hunt 2001c). En cualquier caso, la situación sigue sin ser clara ya que, como representa Stos-Gale (2001, fig.1), existen solapamientos de algunas mineralizaciones tanto del SW como del SE con depósitos sardos, aunque de momento no con el de Sa Duchesa con el que los materiales de la Ría de Huelva pudieran tener relación. Aventurar la importación de metal de Cerdeña o del Suroeste en la Edad del Bronce argárica resulta aún arriesgado dado el bajo nivel de caracterización de las mineralizaciones españolas y portuguesas y los solapamientos generales ya detectados. Ante este panorama puede resultar útil comparar la distribución de las tres series de datos de objetos disponibles (Fig. 4). Así, los materiales de Menorca no llegan a mezclarse con los del SW, presentando una distribución con valores ligeramente más altos en la relación Pb208 / Pb206. Lo mismo puede decirse de los materiales del SE en relación a los del SW, presentando los primeros una distribución más parecida a la de los materiales de Menorca. Aunque con rangos isotópicos similares no puede mantenerse una relación de dependencia entre áreas, ya que los resultados deberían aparecer entremezclados en la distribución general y de momento no lo hacen.

Estos primeros datos sirven, no obstante, para empezar a conocer algunas realidades genéricas que permiten planificar el futuro:

- Los resultados muestran en primer lugar la existencia de mineralizaciones anómalas desde el punto de vista isotópico usadas en la Prehistoria, no documentadas hasta el momento. El caso más claro es un punzón del Barranquete, además de anomalías de la mineralización de Sierra Cabrera y en minas de la provincia de Sevilla, como Cala, donde el rango es muy amplio debido a la existencia de dos mineralizaciones distintas (Hunt 2001, 493).
- Empleo de diversas mineralizaciones. No existe por tanto una concentración en una fuente de abastecimiento determinada. La amplitud de los rangos isotópicos rechaza categóricamente la existencia de un control exclusivo en la extracción de la materia prima.
- Mala discriminación entre regiones por similitudes genéticas y un muestreo analítico incompleto. Se solapan parcialmente mineralizaciones del SE y SW y falta completar muchas zonas, lo que puede oscurecer aún más la situación. También existe una similitud en el rango de distribución con mineralizaciones del Mediterráneo Occidental, como las de Cerdeña.
- Falta de adscripción en la mayoría de los análisis a mineralizaciones concretas de las analizadas, lo que confirma la falta de mucho trabajo de caracterización.
- Uso diversificado de materias primas en las muestras de la mayoría de los yacimientos conocidos con presencia de rangos isotópicos muy variables, pero sin ninguna evidencia que indique factores predominantes de reciclado (Stos-Gale 2001, 453).

La situación obliga a reorientar la estrategia de muestreo y análisis con isótopos de plomo. La abundancia de los recursos minerales de cobre en la Península Ibérica y la existencia de anomalías hace inviable un muestreo significativo a corto y medio plazo, por lo que los resultados obtenidos mantendrán un alto nivel de

Figura 4. Comparación de la distribución de los resultados de isótopos de plomo de las series de objetos metálicos de Menorca, SE y SW.



provisionalidad. Un muestreo selectivo de las grandes áreas mineras no parece ser la solución dado que los metales ya analizados no encajan con las caracterizaciones isotópicas de algunos de esos principales distritos mineros históricos como Río Tinto, Aznalcóllar, Sierra de Cartagena o Linares. Ni siquiera en el SW se han conseguido identificaciones inequívocas de los metales analizados en la Edad del Bronce. El aprovechamiento de mineralizaciones de menor entidad, incluso de pequeña escala, parece bastante probable en este periodo.

Para comprender los mecanismos de intercambio podemos acudir a un tipo de muestreo diferente del realizado hasta ahora y que inicialmente ha seguido Hunt (1998) en algunos yacimientos. Dado que el registro arqueológico permite contar con suficientes evidencias de restos de producción metalúrgica, el primer paso sería la caracterización de esos restos y de los metales del mismo yacimiento. De esta manera se comprobaría si la fuente de materia prima es única o variada, y si existe correspondencia directa entre las relaciones isotópicas de la producción metalúrgica de un yacimiento con el metal recuperado en el mismo sitio.

En los yacimientos de Trastejón y Amarguillo (Hunt 1998) no se detecta una concordancia completa entre ambos tipos de muestras (minerales y metales), y el rango de variación isotópica es mayor entre los objetos que entre los minerales de cada yacimiento. Esta situación permite nuevas posibilidades de interpretación de los datos: la hipótesis a contrastar sería que la producción metálica propia está destinada a un intercambio de bienes similares entre grupos, confiriendo al metal un valor social más que instrumental. Si esto fuera así, el análisis de isótopos de plomo sólo de objetos de metal, como mayoritariamente se ha venido realizando, llevaría a una interpretación incorrecta sobre las pautas de intercambio. Este patrón de intercambio también justificaría la amplia diversidad de relaciones isotópicas entre metales de un mismo yacimiento que actualmente se detecta.

La combinación de los datos de composición y de isótopos de plomo basados en un muestreo adecuado permitirá aclarar la situación de indefinición que actualmente se ha generado, y ayudará a precisar mucho mejor los patrones y mecanismos de producción e intercambio del metal, aunque no se llegue a identificar con total exactitud el lugar de procedencia de la materia prima. Por ello conviene volver a recordar los comentarios de Budd y otros (1996, 172), para quienes hay que superar la obsesión por conocer el origen concreto del metal, ya que éste no es el único camino para estudiar el uso y producción de los metales en la antigüedad.

BIBLIOGRAFÍA

ALCALDE, G., MOLIST, M., MONTERO, I., PLANAGUMÀ, L., SAÑA, M., TOLEDO, A. 1998, Producciones metalúrgicas en el nordeste de la Península Ibérica durante el III milenio cal. AC: el taller de la Bauma del Serrat del Pont (Tortellà, Girona), *Trabajos de Prehistoria* 55 (1), 81-100.

AMBERT, P., BARGE, H., BOURHIS, J. R., ESPEROU, J. L. 1984, Mines de cuivre préhistoriques de Cabrières (Hérault): premiers resultats. *Bulletin Societé Préhistorique Francaise* 81 (3), 83-89.

AMBERT, P., CAROZZA, L., LÉCHELON, B. 1998, De la mine au métal au sud du Massif Central au Chalcolithique (regions de Cabrières, Fayet et Villefranche-de-Rouergue), *in* C. Mordant, M. Pernot, V. Rychner (ed.), *L'atelier du bronzier en Europe du XX au VIII siécle avant notre ère. Actes du colloque international Bronze'96 Neuchâtel et Dijon, II: Du mineral au métal, du métal à l'objet*. Paris, CTHS, 59-69.

BAXTER, M. J., BEARDAH, C. C., WESTWOOD, S. 2000, Sample size and related issues in the analysis of lead isotope data. *Journal of Archaeological Science* 27, 973-980.

BERTHOUD, TH., BONNEFOUS, S., DECHOUX, M., FRANCAIX, J. 1980, Data analysis: Towards a model of chemical modification of copper from ores to metal, *in* P. T. Craddock (ed.), *Scientific studies in early mining and extractive metallurgy*. British Museum Occasional Paper 20, 87-102.

BOOMERT, A. 1975, A contribution to the classification of spectroanalyses of prehistoric metal objects, *Helenium* 15, 134-161.

BRADLEY, R. 1985, Exchange and social distance - The structure of bronze artifact distributions, *Man* 20, 692-704.

BRILL, R. H. 1969, Lead isotopes in ancient glass. *Annales du 4eme Congres Inter. d'Etude Historique du Verre*, 255-261.

BRILL,.R., BARNES, I. L., ADAMS, B. 1974, Lead isotopes in some ancient Egyptian objects, *in* Bishay, A (ed.), *Recent advances in science and technology of materials*, vol. 3, New York, Plenum Press, 9-27.

BRILL, R. H., WAMPLER, J. M. 1967, Isotope studies of ancient lead, *American Journal of Archaeology* 71, 63-77.

BRUMFIEL, E., EARLE, T. K. (ed.) 1987, *Specialization, exchange and complex societies*. Cambridge University Press.

BUDD, P., HAGGERTY, R., POLLARD, A. M., SCAIFE, B., THOMAS, R. G. 1996, Rethinking the quest for provenance, *Antiquity* 70, 168-174.

BUTLER, J. J., VAN DER WAALS, J. D. 1964, Metal analysis, SAM I and European prehistory, *Helenium* 4, 2-39.

CASTRO, P., CHAPMAN, R. W., GILI, S., LULL, V., MICÓ, R., RIHUETE, C., RISCH, R., SANAHUJA, M. E. 1999, *Proyecto Gatas 2. La dinámica arqueológica de la ocupación prehistórica*. Arqueología Monografías. Junta de Andalucía.

CASTRO, P., GILI, S., LULL, V., MICÓ, R., RIHUETE, C., RISCH, R., SANAHUJA, M. E. 1998, Teoría de la producción de la vida social. Mecanismos de explotación en el Sudeste ibérico, *Boletín de antropología americana* 33, 25-77.

CHAPMAN, R. 1999, Estudio preliminar *in Luis y Enrique Siret: Del Neolítico al Bronce*. Colección Siret de Arqueología 6, Almería, 8-30.

CHERNIJ, E. 1966, *Istorija drevnejsej metallurgii Vostocnoj Evropy*. Moskau: Akad. Nauk SSSR.

COLES, J.M. 1982, The Bronze Age in northwestern Europe: problems and advances, *in* F. Wendorf A. E. Close (ed.), *Advances in world archaeology* 1, Academic Press. New York 265-321.

CRADDOCK, P. T., FREESTONE, I. C., GALE, N. H., MEEKS, N. D., ROTHEMBERG, B., TITE, M. S. 1985, The investigation of a small heap of silver smelting debris from Río Tinto, Huelva, Spain, *in* P. T. Craddock y M. J. Hughes (ed.), *Furnaces and smelting technology in antiquity*. Bristish Museum Occasional Papers 48, 199-217.

DELIBES, G., MONTERO, I. (Coord.) 1999, *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica. II: Estudios regionales*. Instituto Universitario Ortega y Gasset, Madrid.

EARLE, T., ERICSON, J. E. 1977, Exchange systems in archaeological perspective, *in* Earle, T., Ericson, J. E. (ed.), *Exchange systems in Prehistory*. Academic Press. New York, 3-12.

FERNÁNDEZ MANZANO, J., HERRÁN, J. I., OREJAS, A., HERNANSANZ, M., PARADINAS, S. 1997, Minería y poblamiento Calcolítico en Ávila de los Caballeros, *in* R. de Balbín, P. Bueno (ed.), *II Congreso de Arqueología Peninsular (Zamora, 24-27 septiembre 1996). Vol. II Neolítico, Calcolítico y Bronce*. Fundación Rei Afonso Enriques, Zamora, 527-541.

GALE, N., PAPASTAMATAKI, A., STOSGALE, Z.A., LEONIS, K. 1985, Copper sources and copper metallurgy in the Aegean Bronze Age *in* P. T. Craddock, M. Hughes (ed.): *Furnaces and smelting technology in Antiquity*. British Museum Occasional Paper 48, 81-102.

GALE, N. H., STOSGALE, Z. A. 1986, Oxide copper ingots in Crete and Cyprus and the Bronze Age metals trade, *Britsh School at Athens* 81, 81-100.

GALE, N. H., STOSGALE, Z. A. 1989, Some aspects of Early Cycladic copper metallurgy, *in Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas*, Vol I, 21-36.

GALE, N. H., STOSGALE, Z. A. 1996, Lead isotope methodology: the possible fractionation of lead isotope compositions during metallurgical processes, *in* S. Demirci, A. M. Özer, G. D. Summers (ed.), *Archaeometry 94. 29th International Symposium on Archaeometry*, Ankara, 287-299.

GÓMEZ TUBIO, B., RESPALDIZA, M. A., PARDO, Mª. L. (ed.) 2001, *III Congreso Nacional de Arqueometría*. Universidad de Sevilla.

GREGORY, C. A. 1994, Exchange and reciprocity. En T. Ingold (ed.), *Companion Encyclopedia of Anthropology*. Routledge. London, 911-939.

HUNT, M. 1998, *Minería y metalurgia prehistóricas en Andalucía occidental*. Tesis Universidad de Sevilla.

HUNT, M. 2001 a, El depósito de la Ría de Huelva: datos isotópicos para la determinación de su procedencia *in* B. Gómez Tubio, M. A. Respaldiza, Mª L. Pardo (ed.), *III Congreso Nacional de Arqueometría*. Universidad de Sevilla 487-496.

HUNT, M., HURTADO, V. 2001, Análisis arqueometalúrgico del yacimiento Calcolítico de La Pijotilla (Badajoz), *in* B. Gómez Tubio, M. A. Respaldiza, Mª L. Pardo (ed.): *III Congreso Nacional de Arqueometría*. Universidad de Sevilla, 467-475.

IXER, R. A. 1999, The role of ore geology and ores in the archaeological provenancing of metals, *in* S. M. Young, A. M. Pollard, P. Budd, R. A. Ixer (ed.), *Metals in Antiquty*. BAR International Series 792, 43-52.

JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E., SCHRÖDER, M. 1960, *Metallanalysen Kupferzeitlicher und frühbronzezeitlicher Bodenfunde aus Europa*. S.A.M., I.

JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E., SCHRÖDER, M. 1968, *Kupfer u. Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Katalog der Analysen 985-10040*. S.A.M. 2, Berlin.

JUNGHANS, S., SANGMEISTER, E., SCHRÖDER, M. 1974, *Kupfer u. Bronze in der frühen Metallzeit Europas. Katalog der Analysen Nr. 10041-22000*, Berlin.

KASSIANODOU, V. 1992, *Monte Romero (Huelva), a silver producing workshop of the tartessian period in SW Spain*. Ph.D., Institute of Archaeology, University of London.

KRAUSE, R., PERNICKA, E 1996, Das neue Stuttgarter Metallanalysenprojekt SMAP. *Archäologisches Nachrichtenblatt*, 1, 274-291.

LIVERSAGE, D., LIVERSAGE, M. 1991, Early Bronze Age impurity patterns. More from the S.A.M. analyses, *in* J. P. Mohen, Ch. Eleure (ed.), *Découverte du métal*. Picard, Paris, 167-177.

LULL, V., RISCH, R. 1995, El estado argárico. *Verdolay* 7, 97-109.

MACFARLANE, A. 1999, The lead isotope method for tracing the sources of metal in archaeological artefacts: strengths, weaknesses and applications in the western hemisphere, *in* S. M. Young, A. M. Pollard, P. Budd, R. A. Ixer (ed.), *Metals in Antiquty*. BAR International Series 792, 310-316.

MAUSS, M. 1990 [1954], *The Gift: forms and functions of exchange in archaic societies*. Rotledge & Kegan Paul. London.

MERKEL, J. 1982, *Reconstruction of Bronze Age copper smelting. Experiments based on archaeological evidence from Timna, Israel*. Ph. D., Institute of Archaeology, University of London.

MONTERO RUIZ, I. 1994, *El origen de la metalurgia en el sudeste de la Península Ibérica*. Instituto de Estudios Almerienses. Colección de Investigación, nº 19. Almería.

MONTERO RUIZ, I. 1998a, Aprovechamiento de recursos minerales y comercialización de objetos metálicos: una perspectiva analítica, *in* G. Delibes (Coord.), *Minerales y metales en la prehistoria reciente. Algunos testimonios de su explotación y laboreo en la Península Ibérica. Studia Archaeologica* 88. Universidad de Valladolid. Valladolid, 199-225.

MONTERO RUIZ, I. 1998b, Interpretación cultural en la investigación arqueometalúrgica, la Edad del Bronce, *in* J. Fernández-Manzano, F. J. Sarabia, *Arqueometalurgia del bronce. Introducción a la metodología de trabajo. Studia Archaeologica* 86. Universidad de Valladolid. Valladolid, 99-108.

MONTERO, I., RODRÍGUEZ, S., ROJAS, J. M. 1990, *Arqueometalurgia de la provincia de Toledo, Minería y recursos minerales de cobre*. Diputación Provincial de Toledo.

MONTERO, I., RODRÍGUEZ DE LA ESPERANZA, Mª J. 1997, Asociaciones naturales de cobre y níquel en el alto valle del Ebro, *in* R. de Balbín, P. Bueno (ed.), *II Congreso de Arqueología Peninsular (Zamora, 24-27 septiembre 1996. Vol. II Neolítico, Calcolítico y Bronce*. Fundación Rei Afonso Enriques. Zamora, 517-526.

NEEDHAM, S. 1993, Displacement and exchange in archaeological methodology, *in* Ch. Scarre, F. Healy (ed.), *Trade and exchange in prehistotric Europe*. Oxbow Books, 161-169.

NEEDHAM, S. 1998, Modelling the flow of metal in the Bronze Age, *in* C. Mordant, M. Pernot, V. Rychner (ed.), *L'atelier du bronzier en Europe du XX au VIII siécle avant notre ère. Actes du colloque international Bronze'96 Neuchâtel et Dijon, III, Production, circulation et consommation du bronze*. Paris, CTHS, 285-307.

NOCETE, F. 2001, *Tercer milenio antes de nuestra Era. Relaciones y contradicciones centro / periferia en el Valle del Guadalquivir*. Bellaterra Arqueología. Barcelona.

NORTHOVER, P. 1982, The metallurgy of the Wilburton hoards. *Oxford Journal of Archaeology* 1 (1), 69-109.

OTTO, H., WITTER, W. 1952, *Handbuch der ältesten vorgeschichtlichen Metallurgie in Mitteleuropa*. Barth Verlag. Leipzig.

PEAKE, H. 1928, The copper mountain of Magan, *Antiquity* 2, 452.

PERNICKA, E., 1998, Whiter metal analysis in archaeology?, *in* C. Mordant, M. Pernot, V. Rychner (ed.), *L'atelier du bronzier en Europe du XX au VIII siécle avant notre ère. Actes du colloque international Bronze'96 Neuchâtel et Dijon, I, Les analyses de composition du métal, leur apport à l'archéologie de l'Âge du Bronze*. Paris, CTHS, 259-267.

PERNICKA, E., 1999, Trace element fingerprinting of ancient copper, a guide to technology or provenance? *in* S. M. Young, A. M. Pollard, P. Budd, R.A. Ixer (ed.), *Metals in Antiquity*. BAR International Series 792, 163-171.

PITTIONI 1959, Zweck und Ziel spektralanalytischer Untersuchungen für die Urgeschichte des Kupferbergwesens. *Archaeologia Austriaca* 26, 67-95.

PRANGE, N. K., GÖTZE, H. J., HAUPTMANN, A., WEISGERBER, G. 1999, Is Oman the ancient Magan? Analytical studies of Copper from Oman, *in* S.M. Young, A. M. Pollard, P. Budd, R. A. Ixer (ed.), *Metals in Antiquity*. BAR International Series 792, 187-192.

RENFREW, C. 1993, Trade Beyond the material. En Ch. Scarre, F. Healy (ed.), *Trade and exchange in prehistotric Europe*. Oxbow Books,

ROHL, B., NEEDHAM, S. 1998, *The circulation of metal in the British Bronze Age, the application of lead isotope analysis*. British Museum Occasional Paper 102.

ROVIRA, S., MONTERO, I., CONSUEGRA, S. 1991, Metalurgia Talayótica Reciente, nuevas aportaciones. *Trabajos de Prehistoria* 48, 51-74.

SANGMEISTER, E. 1960, Metalurgia y comercio del cobre en la Europa prehistórica. *Zephyrus* XI, 131-139.

SIRET, E., L. 1890, *Las primeras edades del metal en el S.E. peninsular*. Barcelona.

SIRET, L. 1913, *Questions de Chronologie et d'ethnographie ibériques*. Paris.

STOS-GALE, Z. 1999, Informe sobre los análisis de artefactos metálicos de la Cova es Càrritx, Es Forat de Ses Aritges y la Cova des Mussol, *in* V. Lull, R. Micó, C. Rihuete, R. Risch, *Ideología y sociedad en la Prehistoria de Menorca. La cova des Càrritx y la cova des Mussol*. Consell Insular de Menorca, 643-650.

STOS-GALE, S. 2001, The development of spanish metallurgy and copper circulation in prehistoric sothern Spain *in* B. Gómez Tubío, M. A. Respaldiza, Mª L. Pardo (ed.), *III Congreso Nacional de Arqueometría*. Universidad de Sevilla, 445-456.

STOS-GALE, Z., HUNT, M., GALE, N.H. 1999, Análisis elemental y de isótopos de plomo de objetos metálicos de Gatas, *in* P. Castro, R. W. Chapman, S. Gili, V. Lull, R. Micó, C. Rihuete, R. Risch, M. E. Sanahuja, *Proyecto Gatas 2. La dinámica arqueológica de la ocupación prehistórica*. Arqueología Monografías. Junta de Andalucía, 347-358.

TRINCHERINI, P. R., BARBERO, P., QUARATI, P., DOMERGUE, C., LONG, L. 2001, Where do the lead ingots of the Saintes-Maries-de-La-Mer wreck come from? Archaeology compared with Physics. *Archaeometry* 43(3), 393-406.

TYLECOTE, R. F., BOYDELL, P. J. 1978, Experiments on copper smelting based on early furnaces found at Timna. *IAMS, monograph* 1, 27-49.
TYLECOTE, R .F., GHAZNAVI, H. A., 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, 305-333.
YOUNG, S. M., POLLARD, A. M., BUDD, P, IXER, R. A.(ed.) 1999, *Metals in Antiquity*. BAR International Series 792.