



La procedencia del metal: consolidación de los estudios con isótopos de plomo en la Península Ibérica

Metal provenance: the consolidation of lead isotope analyses in the Iberian Peninsula

Se presenta el panorama seguido por la investigación en la Península Ibérica con análisis de isótopos de plomo. Destaca el impulso recibido por este tipo de análisis desde los inicios del siglo XXI y se considera que actualmente ya están consolidados como una técnica utilizada por un amplio número de investigadores y en temáticas diversas. El esfuerzo en estudiar los materiales arqueológicos ha estado acompañado también por un interés en caracterizar las zonas mineras y especialmente las minas con evidencias de actividad en la Antigüedad. Estos estudios sobre minerales complementan los realizados desde el campo de la Geología. Se describen los principales temas de investigación como han sido los orígenes de la metalurgia, la plata en la Edad del Bronce, la metalurgia fenicia, el plomo en la Edad del Hierro, estudios numismáticos y los lingotes de época romana.

Palabras clave: arqueometalurgia, procedencia, comercio, minería, isótopos de plomo.

The current paper is a survey of lead isotope research in the Iberian Peninsula. The outset of the 21st century was marked by the increase and consolidation of a technique that is currently fully integrated and practiced by a great number of researchers in different fields. The recent efforts to study archaeological materials are also accompanied by analyses of geological samples collected from different mining areas, and especially the mines bearing evidence of exploitation during Antiquity. These mineral ore analyses are, in fact, complementary to geological studies. The paper also outlines the principal topics of this type of research: the origins of metallurgy, silver in the Bronze Age, Phoenician metallurgy, lead in the Iron Age, numismatics and Roman ingots.

Keywords: archaeometallurgy, provenance, trade, mining, lead isotopes.

Introducción

¿De dónde procede el metal? ¿Cuáles son y cómo se organizan las redes de distribución y comercialización del metal? ¿Hubo una producción centralizada de metal? ¿Son importados los objetos? Estas y otras son preguntas que la investigación arqueológica ha tratado de responder usando las herramientas disponibles, ya sea a través de la tipología de los objetos, con modelos de distribución espacial de tipos, o mediante la descripción de rasgos tecnológicos en las manufacturas, que definan un taller de producción. También la composición de los objetos ha sido utilizada para tratar de responder a algunas de estas cuestiones comparando la presencia/ausencia de ciertos elementos o a través del estudio de modelos de impurezas presentes en el metal. Estas aproximaciones podían en algunos casos responder de manera positiva, pero en la mayoría de las situaciones la incertidumbre de las respuestas era amplia y, en consecuencia, abierta a controversia por una falta adecuada de resolución en los datos manejados.

Los análisis con isótopos de plomo abrieron una nueva posibilidad de conseguir respuestas más concretas sobre la procedencia del metal, aunque no siempre certezas, y, como muchas técnicas de análisis, incluida el carbono 14, ha atravesado distintas etapas en las que inicialmente los principios en los que se basa permitieron albergar grandes expectativas, su desarrollo identificó las limitaciones y debilidades, para finalmente acotar su aplicación e interpretación refinando los procedimientos para su correcta aplicación y las técnicas adecuadas para obtener datos con suficiente precisión. En esta trayectoria los desarrollos instrumentales han jugado a favor de su implantación en la investigación arqueológica, por un lado aumentando la precisión de los análisis y por otro abaratando y ampliando la oferta de laboratorios que los realizan.

Los análisis de isótopos ya no pueden considerarse una técnica nueva. Han transcurrido más de cincuenta años desde sus primeras aplicaciones a material arqueológico (Brill y Wampler 1965 y 1967) sin contar sus antecedentes en el campo de la geología. Sin embargo, su empleo en la investigación arqueológica en la Península Ibérica solo puede considerarse consolidado en fechas recientes. Entiendo que este proceso de consolidación se consigue cuando su campo de aplicación es general y es empleado por un amplio grupo de investigadores en temas y cronologías diversas. Y esta es la situación a la que actualmente ya hemos llegado.

Este artículo pretende servir de registro sobre ese proceso de consolidación y tiene un carácter historiográfico, por lo que todos aquellos aspectos relacionados con los principios en los que se basan las técnicas, la instrumentación y sus limitaciones deben ser consultados en obras de referencia generales como las de Pollard (2016), Penicka (2014) o Artioli (2010), que también contienen aspectos historiográficos sobre su uso en arqueología; se pueden encontrar valoraciones más precisas sobre su aplicación en los artículos de Gale y Stos-Gale (2000), Stos-Gale y Gale (2009) o las descripciones en castellano de Hunt (1998) y Montero Ruiz (2002).

La creación del Servicio de Geocronología de la Universidad del País Vasco ha sido un factor favorable en este proceso de consolidación. Disponer de un laboratorio familiarizado con los materiales arqueológicos ha sido determinante, especialmente porque coincide en el tiempo con el cierre del Isotrache Laboratory de Oxford que había sido la referencia principal en las décadas anteriores y donde se realizaron los primeros análisis de materiales hispanos. El Servicio de Geocronología y Geoquímica isotópica de la UPV/EHU bajo la dirección del Dr. José Ignacio Gil Ibarguchi empezó a desarrollar la técnica y validar los resultados de los análisis de isótopos de plomo a partir de 2001 (Santos *et al.* 2001) y gracias al impulso del Dr. Reinaldo Sáez, del Departamento de Geología de la Universidad de Huelva, se iniciaron las primeras medidas de material arqueológico que se presentaron al Congreso Ibérico de Arqueometría de Cádiz en 2003 (Santos Zalduegui *et al.* 2004b). Desde esa fecha ha generado la gran mayoría de análisis publicados por diferentes investigadores y su personal ha participado también en la publicación de parte de esos análisis.

Los inicios

En 2006 se publicó una primera visión de síntesis (Montero Ruiz y Hunt Ortiz 2006) sobre cómo se habían desarrollado las investigaciones en la Península Ibérica hasta esa fecha. Ya se señalaba el retraso relativo de su uso y la escasa disponibilidad de datos con respecto a otras áreas, pero también el creciente interés dentro de la Arqueología para su aplicación más sistemática.

Los primeros datos de isótopos de plomo de material arqueológico de la Península Ibérica fueron los análisis de escorias de Río Tinto (Craddock *et al.* 1985) por iniciativa del IAMS. Los primeros análisis promovidos por investigadores españoles estuvieron vinculados con el Isotrache Laboratory de Oxford (Stos-Gale y Gale 2009) y la información en acceso abierto de la base de datos OXALID muestra que hasta febrero de 1990 no se analizaron los primeros objetos que fueron procesados durante la estancia formativa de Mark Hunt en Oxford ese año. Se trata de materiales desde el Calcolítico al Bronce Final del Suroeste de la Península relacionados con su tesis doctoral defendida en la Universidad de Sevilla en 1998 y publicada en 2003 (Hunt Ortiz 2003). También en 1990 se empiezan a estudiar metales calcolíticos y argáricos que Vicente Lull y Robert Chapman proponen dentro de las actividades del proyecto Gatas, parte de los cuales fueron publicados en 1999 (Stos-Gale *et al.* 1999). Una parte de esos datos quedaron inéditos, aunque hoy día pueden consultarse en la página web de la base de datos OXALID (<http://oxalid.arch.ox.ac.uk/default.html>). Esta base de datos recoge también otro grupo de materiales excavados por investigadores de la UAB y que pertenecen a las cuevas sepulcrales de Carrixt y Mussols en Menorca (Stos-Gale 1999).

Entre los materiales analizados en Oxford están los primeros 5 análisis del depósito de la Ría de Huelva, estudio promovido por Mark Hunt (1999), y 2 galenas del yacimiento de Peñalosa que fueron gestionadas también por Mark Hunt pero en el

marco del proyecto Peñalosa, dirigido por Francisco Contreras de la Universidad de Granada (Contreras Cortés 2000).

Los objetos analizados en Oxford con la técnica TIMS son 121, principalmente metales de base cobre, pero también se realizaron los primeros análisis de plata de la Edad del Bronce. A estos debemos sumar 67 análisis de escorias, minerales y restos metalúrgicos que Mark Hunt incluyó en su tesis y que en parte se centran en el periodo Orientalizante de la región, dentro de lo que podemos considerar I Edad del Hierro.

Dentro de esta primera fase de investigación no hay que olvidar las 6 muestras (cuatro galenas y dos plomos) del yacimiento de Sa Caleta (Ibiza) que formaron parte de la tesis de licenciatura de M.^a Cristina Ruiz de Smedt (1992) en la Universidad de Barcelona y que también se analizaron en Oxford, aunque no aparecen recogidas en la base de datos OXALID, ni su trabajo fue publicado oficialmente en ninguna revista o monografía.

La información geológica (figura 1)

Uno de los puntos clave en la interpretación de resultados obtenidos en material arqueológico es la comparación con los minerales extraídos de las minas, es decir con muestras geológicas que permitan sustentar las posibles procedencias por similitud en las ratios isotópicas, o descartar procedencias en caso de firmas diferentes. Las primeras investigaciones ya citadas se vieron condicionadas por la escasa información disponible de estudios geológicos o geoquímicos de las mineralizaciones de la Península. Es interesante revisar los comentarios de Gale (1991: 221) sobre las minas de Cartagena y su posible solapamiento con Chipre en su discusión con Muhly (1991: 190) sobre la procedencia de los lingotes *oxide*.

Podemos diferenciar los análisis procedentes de estudios geológicos y publicados en revistas de Geología o de Ciencias de la Tierra, de los estudios realizados a partir de proyectos arqueológicos y publicados en revistas de esta área.

Análisis de isótopos de plomo en estudios geológicos

Los pocos estudios sobre génesis y edad de formación de minerales con isótopos de plomo anteriores a 1990 habían sido realizados por investigadores extranjeros. Además del estudio de Graeser y Friedrich (1970) sobre las minas de Cartagena, el otro artículo de referencia es el de Dayton y Dayton (1986) que aportaba información sobre Cordilleras Béticas y algunas zonas de Sierra Morena. Un estudio pionero fue el de Laranjeira y Fronteira e Silva (1968) que analizaba muestras de galena de tres minas del norte de Portugal.¹ Estos datos nunca han servido de referencia a otros investigadores. Su publicación parcial (sin que se puedan calcular las ratios con el denominador 204Pb) y los amplios márgenes de

error, hacen inviable su incorporación a la base de datos (figura 1).

A partir de 1990 se van publicando nuevos análisis sobre minerales de distintas zonas, pero ya aparecen también autores españoles involucrados en la investigación, aunque los análisis se realizan mayoritariamente en laboratorios extranjeros. Todas estas referencias se han recopilado en la base de datos de isótopos de plomo de minerales y se utilizan como referencias comparativas en la interpretación de los resultados arqueológicos. La figura 1 recoge de manera sintética las zonas estudiadas y las referencias bibliográficas que aportan los datos hasta 2017.

Desde 1992, E. Marcoux publica diversos trabajos con isótopos de plomo de la Faja Pirítica, que aparecen recopilados en su publicación de 1998. Tornos y Arias (1993) publican las galenas de Rubiales (Lugo), artículo que recoge datos de la tesis de Daniel Arribas leída en la Universidad de Oviedo en 1988. En 1994 aparece el artículo de Arribas y Tosdal (1994) sobre rocas y minerales de las Cordilleras Béticas, en el SE peninsular, con datos principalmente de minas de Almería (Gador, Sierra Alhambra, Almagrera) y algunas de Murcia (Cartagena, Mazarrón, Loma del Bas). Del año 1995 es la publicación de los minerales de Vallde Ribes de Andorra (Romer y Soler 1995). En 1996 aparecen cuatro publicaciones, por un lado con la participación de Fernando Tornos los datos de las mineralizaciones de Pb-Zn de la zona Asturoccidental leonesa (Tornos *et al.* 1996), complementados por los análisis de las minas de Ibeas en la misma región (Arias *et al.* 1996); por otro, Velasco *et al.* (1996) publican galenas de 7 distritos mineros de la región Vasco-Cantábrica, incluida la Sierra de la Demanda (Burgos), y por último Cardellach *et al.* (1996) se centra en los minerales del Valle de Arán en los Pirineos Centrales. Al año siguiente Canals y Cardellach (1997) publican los minerales de plomo de las cordilleras costeras catalanas.

En la siguiente década siguen apareciendo análisis de isótopos de plomo de nuevos distritos mineros, y se van completando con nuevos análisis zonas ya estudiadas. Los primeros análisis (10) de la zona de Ossa Morena los publican Marcoux *et al.* (2002), pero el gran conjunto de datos procede de la publicación de Tornos y Chiaradia (2004) que aporta otros 53 análisis nuevos, aunque unos pocos pertenecen a minas de la zona Centro-Ibérica (Linares); la zona de Ossa Morena sigue sumando datos con las muestras de la Subzona de Azuaga (Santos Zalduegui *et al.* 2007) y con los análisis de Klein *et al.* (2009). Este último trabajo tiene la peculiaridad de que las muestras analizadas proceden de las prospecciones realizadas por Claude Domergue en la identificación de las minas de la antigüedad romana en la Península Ibérica (Domergue 1987 y 1990) y también contiene datos de minas de Linares, Pedroches y análisis de algunas otras minas como el primer dato sobre la mina prehistórica de La Profunda (León).

El artículo de Santos Zalduegui *et al.* (2004a) destaca por dos motivos. Primero por el número elevado de análisis de minerales del Valle de la Alcuía y Los Pedroches (125) y segundo por su publicación

1. Agradezco a Lois Armada del INCIPIT-CSIC el que me diera a conocer esta referencia.

Zona	Sierra / Distrito	Referencia
Asturoccidental leonesa		Tornos y Arias 1993; Tornos <i>et al.</i> 1996; Arias <i>et al.</i> 1996
Baleares	Ibiza	M.ª Cristina Ruiz de Smedt; Ramón <i>et al.</i> 2011; Hermanns 2014; Muller <i>et al.</i> 2014
Baleares	Mallorca	Hermanns 2014; Perelló 2017
Baleares	Menorca	Hunt <i>et al.</i> 2014; OXALID; Perelló 2017
Béticas	Almagrera	Dayton y Dayton 1986; Stos-Gale <i>et al.</i> 1995; OXALID; CSIC sin publicar
Béticas	Almagro	Stos-Gale, Hunt y Gale 1999; OXALID; CSIC sin publicar; Murillos-Barroso sin publicar
Béticas	Bolnuevo	CSIC sin publicar
Béticas	Cabo de Gata	Arribas y Tosdal 1994; Stos-Gale <i>et al.</i> 1995
Béticas	Cartagena	Graeser y Friedrich 1970; Arribas y Tosdal 1994; Klein <i>et al.</i> 2009; Muller <i>et al.</i> 2014; Baron <i>et al.</i> 2017; CSIC sin publicar
Béticas	Gador	Dayton y Dayton 1986; Arribas y Tosdal 1994; Montero y Murillo 2010
Béticas	Herrerías	Bartelheim <i>et al.</i> 2012; Montero Ruiz y Murillo Barroso 2014; Murillo Barroso sin publicar
Béticas	Mazarrón	Graeser y Friedrich 1970; Stos-Gale <i>et al.</i> 1995; OXALID
Béticas	Sierra Alhamilla	Arribas y Tosdal 1994; Stos-Gale <i>et al.</i> 1995
Béticas	Sierra Cabrera	OXALID; Murillo-Barroso sin publicar
Béticas	Sierra de Baza	Gonzalo Aranda sin publicar
Béticas	Sierra de Bedar	Stos-Gale, Hunt y Gale 1999; Montero y Murillo 2010; Murillo-Barroso sin publicar
Béticas	Minas Cu Alcolea	Montero y Murillo 2010; CSIC sin publicar
Béticas	Sierra de los Filabres	Klein <i>et al.</i> 2009; Aranda sin publicar
Béticas	Santomera y Orihuela	Brandherm sin publicar
Béticas	Sierra del Aguilón	OXALID
Béticas	Sierra del Cantar	Montero y Murillo 2010
Béticas	Sierra María	Gonzalo Aranda
Béticas	Sierra Nevada	Gonzalo Aranda
Béticas	Sierra Tercia	CSIC sin publicar
Béticas	Sierras Malagueñas	Renzi <i>et al.</i> 2016; Rodríguez Vinheiro <i>et al.</i> 2018
Cantábrica	Minas de El Aramo, Milagro y Profunda	Huelga-Suárez <i>et al.</i> 2012; 2014a; 2014b; Klein <i>et al.</i> 2009
Centroibérica	Castelo Branco	Gauss 2016
Centroibérica	Linares	Dayton y Dayton 1986; Stos-Gale <i>et al.</i> 1995; Santos Zalduegui <i>et al.</i> 2004; Tornos y Chiaradia 2004; Hunt <i>et al.</i> 2011
Centroibérica	Montes de Toledo	Villaseca <i>et al.</i> 2005
Centroibérica	Sierra de Guadarrama	CSIC sin publicar
Centroibérica	Sierra del Alto Rey	Tornos y Chiaradia 2004; Montero Ruiz y Murillo-Barroso 2014
Centroibérica	Valle Alcudia	Santos Zalduegui <i>et al.</i> 2004; Klein <i>et al.</i> 2009
Cordilleras Costero catalanas	Central	Canals y Cardellach 1997; CSIC sin publicar
Cordilleras Costero-catalanas	Molar-Bellmunt-Falset	Canals y Cardellach 1997; Montero-Ruiz <i>et al.</i> 2009; Montero Ruiz y Murillo-Barroso 2014
Cordilleras Costero-catalanas	Montserrat	Montero Ruiz 2017 y 2018; CSIC sin publicar
Cordilleras Costero-catalanas	Norte	Montero <i>et al.</i> 2009
Cordilleras Costero-catalanas	Sur	Canals y Cardellach 1997
Galicia-Tras-os-Montes	Galicia	Neiva <i>et al.</i> 2008; Armada sin publicar
Ossa Morena	ACB	Marcoux <i>et al.</i> 2002; Tornos y Chiaradia 2004; Klein <i>et al.</i> 2009; Gauss 2016
Ossa Morena	EAB	Marcoux <i>et al.</i> 2002; Tornos y Chiaradia 2004; Gauss 2016
Ossa Morena	NAB	Marcoux <i>et al.</i> 2002; Tornos y Chiaradia 2004
Ossa Morena	NCB	Dayton y Dayton 1986; Hunt 2003; Tornos y Chiaradia 2004; Santos Zalduegui <i>et al.</i> 2007
Ossa Morena	NEB-Los Pedroches	Santos Zalduegui <i>et al.</i> 2004; Klein <i>et al.</i> 2009
Ossa Morena	OMB	Marcoux <i>et al.</i> 2002; Hunt 2003; Tornos y Chiaradia 2004
Ossa Morena	SCB-SBS	Gauss 2016
Pirineos	Pirineos centrales	Romer y Soler 1995; Cardellach <i>et al.</i> 1996; Garcia San Segundo <i>et al.</i> 2014
Pirineos	Pirineos orientales	CSIC sin publicar
Prebéticas	Riopar	Navarro-Ciurana <i>et al.</i> 2017
Sistema Ibérico	Castellón	Montero <i>et al.</i> 2014
Sistema Ibérico		Subías <i>et al.</i> 2010
Sud-portuguesa	Faja Pirítica	Stos-Gale <i>et al.</i> 1995; Marcoux 1998; Hunt 2003; Gauss 2016
Sud-portuguesa	Meridional	Hunt 2003; Gauss 2016
Vasco Cantábrico	Central	Velasco <i>et al.</i> 1996
Vasco Cantábrico	Pirineos occidentales	Velasco <i>et al.</i> 1996
Vasco Cantábrico	Santander	Velasco <i>et al.</i> 1996; Velasco <i>et al.</i> 2003
Vasco Cantábrico	Sierra de la Demanda	Velasco <i>et al.</i> 1996
Vasco Cantábrico	Troya-Legorreta	Velasco <i>et al.</i> 1996
Vasco Cantábrico	Vizcaya occidental	Velasco <i>et al.</i> 1996

Figura 1. Isótopos de plomo de minerales de las diferentes zonas geológicas de la Península Ibérica con referencia a la publicación que contiene los datos de los análisis.

en *Archaeometry*. En este caso la situación es la contraria a la del artículo antes comentado de Klein *et al.* (2009) ya que el estudio parte de un muestreo geológico pero se publica en una revista arqueológica.

El goteo de datos procedente de revistas geológicas continúa a lo largo de los años e incluye la publicación de Velasco *et al.* (2003) con nuevos análisis de las minas de Reocín en Santander, la publicación de galenas de las minas de Mazarambroz (Toledo) por Villaseca *et al.* (2005), datos de minerales de Pb y Sb en Tras-os Montes (Portugal) (Neiva *et al.* 2008), las mineralizaciones del Sistema Ibérico en el artículo de Subias *et al.* (2010); del área pirenaica aparecen dos nuevos análisis en García San Segundo *et al.* (2014) y finalmente los minerales de plomo de Riopar (Albacete) por Navarro-Ciruana *et al.* (2017). También debemos incluir en este listado de referencias los datos de los Pirineos franceses publicados por Munoz *et al.* (2016).

Análisis de isótopos obtenidos en proyectos arqueológicos

La preocupación por explicar los análisis de los objetos arqueológicos y la escasez de datos procedentes de la Geología determinaron que los proyectos involucrados incluyeran en sus estudios muestreos de minerales procedentes de las mineralizaciones de las zonas investigadas en cada uno de ellos.

Estas primeras iniciativas corresponden a los estudios en la tesis doctoral de Mark Hunt en Andalucía Occidental y al Proyecto Gatas en las minas de Murcia y Almería. El primer gran conjunto de datos aparece publicado en la revista *Archaeometry*, gracias a la iniciativa de Noel Gael y Zofia Stos-Gale de presentar los análisis geológicos realizados en el laboratorio de Oxford. Se incluyen en el artículo los minerales de la Faja Pirítica solicitados por Mark Hunt y los del área del SE peninsular (Stos-Gale *et al.* 1995). Estos datos se completan actualmente con la información disponible en OXALID que recoge también análisis inéditos, como por ejemplo 2 muestras de minerales de cobre de Isla Colom (Menorca) o muestras de Cerro Minado (Almería).

El siguiente proyecto que incorpora y publica análisis de material geológico surge por iniciativa de Núria Rafel desde la Universidad de Lleida. Con el fin de validar la hipótesis del interés del comercio fenicio en la zona del Bajo Ebro y la posible explotación de plata en las minas de El Molar donde se localiza el poblado y necrópolis de El Calvari, que ella estaba excavando, propone la realización de un proyecto conjunto con Ignacio Montero del CSIC con el empleo de los análisis de isótopos de plomo (Plata Prerromana en Cataluña, HUM2004-04861-C03-00) para validar las hipótesis de esa explotación. El proyecto incluyó una prospección de las minas de la zona Molar-Bellmunt-Falset y el muestreo para sus análisis (elemental e isotópico). Los datos geológicos se publican en el Congreso de Arqueometría que se celebra en Quebec en 2006 (Montero Ruiz *et al.* 2009a) y los materiales arqueológicos en el monográfico de la *Revista d'Arqueologia de Ponent* (Montero Ruiz *et al.* 2008). La investigación continúa con un segundo

proyecto coordinado (Aprovechamiento de recursos de plomo y plata en el primer milenio a.C.: interacción comercial y cultural en el Mediterráneo Occidental, HUM2007-65725-C03-00) en el que las minas a caracterizar son las del entorno del yacimiento de Ampurias, en la provincia de Girona. Los análisis geológicos se presentan en el Congreso Archaeometallurgy in Europe II celebrado en Grado y Aquileia en 2007 (Montero Ruiz *et al.* 2009b). Durante este proyecto también se analizaron minerales de Sa Argentera en Ibiza (Ramon *et al.* 2011). Un tercer proyecto (El factor minero en el desarrollo histórico de Cataluña meridional: de la Prehistoria a Época Medieval, HAR2010-21105-C02-00), se centró en las minas del área del Montsant cuyos datos aparecen en la monografía de la mina de Solana del Bepo (Montero Ruiz 2017) que incluye además algún otro mineral inédito del área del Molar. Los análisis de minerales de cobre de las minas prehistóricas de Solana del Bepo y Mina Turquesa se publican de forma completa en la monografía dedicada a Mina Turquesa (Montero Ruiz 2018). En este proyecto también se estudiaron minerales de la provincia de Castellón, de los que se han publicado parcialmente los vinculados al plomo (Montero Ruiz *et al.* 2014) y se encuentran inéditos los de cobre.

La tesis doctoral de Rolland Gauss aporta 87 análisis de minerales de las zonas de Osa Morena y Sud-portuguesa en relación con el estudio de la metalurgia del yacimiento de Zambujal. La tesis defendida en Tübingen en 2008 aparece publicada con toda esta información en 2016 (Gauss 2016). El muestreo fue planificado dentro de las actividades del Proyecto de Miguel Kunst sobre el yacimiento de Zambujal y dio como resultado la identificación y excavación de la mina de Mocissos, aunque solo conocemos un análisis, con valores muy radiogénicos, de esta mina prehistórica que parece iniciar su explotación a fines del IV milenio cal BC.

El impulso al estudio de la minería prehistórica realizado en la última década ha estado acompañado por la caracterización isotópica de los minerales explotados en ellas. En una serie de artículos publicados en *Archaeometry* se presentaron los datos de las minas asturleoneras de El Aramo, El Milagro y La Profunda (Huelga-Suárez *et al.* 2012, 2014a y 2014b respectivamente). Los análisis de isótopos de minerales de cobre de las minas José Palacios y Polígono en la provincia de Jaén (Hunt *et al.* 2011) se publicaron antes de que se iniciasen los trabajos arqueológicos que han confirmado la cronología prehistórica de la mina Polígono (Arboledas *et al.* 2015).

La mina de Sa Mitja Luna en Menorca en la que se han realizado sondeos y dataciones de C14 también dispone de una serie de muestras minerales publicadas por Hunt *et al.* (2014), mientras que las minas de plomo de Sa Argentera gracias a las investigaciones de Marcus Hermanns (2014a) han quedado bien caracterizadas desde el punto de vista isotópico completando los datos iniciales publicados en el artículo de Ramon *et al.* (2011). También Hermanns (2014b) ha publicado minerales de plomo de la mina de Bunyola en Mallorca y de la mina de Can Vincent en Ibiza (Hermanns 2014a). Otros minerales

de cobre y plomo de Mallorca y Menorca, incluidas nuevas muestras de Bunyola, se han presentado en la tesis doctoral de Laura Perelló en la Universidad de las Islas Baleares en septiembre de 2017.

Un pequeño número de análisis de isótopos de plomo procede de estudios y colaboraciones conjuntas como los publicados por Montero-Ruiz y Murillo-Barroso (2010) de minas de Almería dentro del proyecto Patrimonio Histórico Minero de Andalucía (P06-HUM-02159), dirigido por Víctor Hurtado. De la Comunidad de Madrid se pudieron analizar, aunque están inéditas, muestras de cobre de las minas de Lozoyuela y Galapagar dentro del proyecto S2007/HUM-543): *El patrimonio arqueológico y documental de la Comunidad Autónoma de Madrid: Sistematización, gestión, puesta en valor y difusión desde el ámbito local al marco europeo*.

El proyecto de excavaciones en Los Castillejos de Alcorrín, dirigido por Dirce Marzoli desde el Instituto Arqueológico Alemán de Madrid, diseñó una prospección minera en el entorno del yacimiento para identificar las posibles fuentes de suministro de hierro, pero en el estudio se caracterizan también minerales de plomo y cobre de la provincia de Málaga (Renzi *et al.* 2016).

Los últimos datos publicados proceden de las minas del área de Cartagena. Dentro del estudio sobre los talleres romanos del Cabezo del Pino se analizan también minerales de plomo de la mina de la Rambla del Abenque (Baron *et al.* 2017).

En los últimos años diversos proyectos han realizado recogidas de muestras minerales para su caracterización isotópica, y aunque los datos no se encuentran aún publicados, son un indicador claro del creciente número de análisis. De entre ellos podemos mencionar el proyecto Marie Curie Society, *Metallurgy and Innovation: The Iberian Hypothesis* (PN623183) desarrollado por Mercedes Murillo-Barroso en el University College de Londres en el que se han estudiado las mineralizaciones de la Cuenca de Vera (Almería), caracterizando de manera completa la Mina de Cerro Minado y completando datos sobre Herrerías, cuyos primeros análisis de plata nativa se publicaron por Bartelheim *et al.* (2012). El proyecto Marie Curie (PN628959) *Atlantic Late Bronze Age Interaction Through Metal Hoards* (ALBIMEH) liderado por Xose-Lois Armada también desde el University College de Londres ha empezado a caracterizar minerales de cobre de Galicia, mientras que el proyecto dirigido por Gonzalo Aranda (Universidad de Granada) *Innovación, continuidad e hibridación. Las sociedades de las Edades del Cobre y Bronce en el sur de la Península Ibérica* (HAR2013-42865-P) ha cubierto parcialmente el vacío de datos en las cordilleras Béticas de las provincias de Granada y Almería. En la provincia de Murcia el proyecto *Prehistoric Mining Remains in the Lower Segura Valley (SE Spain): Initial Survey* financiado por la Academia Británica (British Academy) y bajo dirección de Dirk Brandherm (Universidad de Belfast) se ha centrado en las minas de la Sierra de Santomera-Orihuela.

También se debe hacer referencia al proyecto PIGMALIÓN que desde la Universidad de Huelva lidera Francisco Nocete. Al menos desde finales del siglo xx

ha desarrollado un programa de caracterización de metales de la Prehistoria andaluza que parece que incluye también muestras geológicas del Suroeste. Desconocemos el alcance de la investigación desarrollada a través de diversos proyectos de Investigación del Plan Nacional por la falta de publicación de esos análisis. Solo algunas referencias (Nocete *et al.* 2010) indican que la base de datos cuenta con más de un centenar de muestras recuperadas en las fuentes potenciales de suministro de cobre en la zona. Cabe entender que son muestras analizadas por el proyecto y no datos recopilados de la bibliografía. Independientemente del número de minerales analizados desconocemos las zonas muestreadas, por lo que no se encuentran referenciados en la recopilación de la figura 1.

Tampoco tenemos conocimiento concreto de los muestreos de minerales realizados en la provincia de Murcia, y quizás de Almería, por parte del proyecto La Bastida. En el equipo de investigación se cita a Gert Goldenberg y Erica Hanning como encargados de los estudios geomíneros y a Ernst Pernicka y a Benoit Mille en los estudios arqueometalúrgicos (http://www.la-bastida.com/proyecto/equipo/centros_vinculados/?cat=/proyecto/equipo/centros_vinculados/). Paradójicamente, la tesis doctoral de Nicolau Escanilla (2016), dirigida por Roberto Risch en la UAB, que ha confirmado la cronología calcolítica de Cerro Minado y descubierto otras posibles minas prehistóricas en la zona, y que contiene una excelente caracterización elemental y geoquímica de los minerales de cobre, no realizó análisis con isótopos de plomo.

La investigación en arqueología

La aplicación de los análisis de isótopos de plomo para determinar la procedencia del metal arqueológico se centró inicialmente en los inicios de la metalurgia. El Proyecto Gatas analizó objetos de cobre, bronce y plata, mientras que la tesis de Mark Hunt (2003) con una perspectiva más amplia incluyó el Bronce Final y los momentos iniciales de la colonización fenicia con el estudio de escorias, minerales y restos de fundición. El proyecto PIGMALIÓN también se interesó por los inicios de la metalurgia en el SW de la Península y analizó los materiales de cobre o bronce y los restos arqueometalúrgicos vinculados a su producción.

Las investigaciones de los proyectos coordinados por Núria Rafel desde el año 2004 ampliaron el campo de aplicación y por primera vez se incluyeron materiales como el plomo metálico y monedas (bronce y plata) y se amplió el periodo de estudio a materiales de la Edad del Hierro y romanos. En estos proyectos y en la mayoría de los que se irán citando a continuación además de los estudios de procedencia del metal se realizaron análisis de composición elemental y análisis sobre la tecnología de producción metalúrgica dentro del marco del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península Ibérica (Rovira Llorens y Montero Ruiz 2018). De este modo se complementaba la información suministrada por cada tipo de análisis y especialmente gracias a la composición elemental se podía valorar en la interpretación aspectos de geoquímica.

Estos trabajos iniciales han sido continuados por diversos investigadores, algunos vinculados a esos pri-

meros proyectos de investigación y otros interesados por el potencial de información que los análisis pueden suministrar. En las siguientes líneas presentamos una síntesis de los principales temas y las contribuciones que se han materializado con publicación de datos de análisis o de proyectos e investigaciones que están desarrollándose actualmente y cuyo contenido me es conocido por participar directa o indirectamente en la interpretación de los resultados. Sin duda existen otros estudios en marcha, como los ya comentados de PIGMALIÓN o del proyecto La Bastida, que refuerzan la idea sobre el uso generalizado de estos análisis en la investigación arqueológica, de los que solo podemos mencionar su existencia a la espera de publicaciones que concreten qué materiales se han analizado.

Los inicios de la metalurgia

La metalurgia en el Calcolítico y Edad del Bronce es el periodo más investigado y cuenta con los datos ya señalados del Proyecto Gatas y de la tesis de Mark Hunt. La base de datos OXALID incluye materiales argáricos que no fueron publicados por Stos-Gale *et al.* (1999) y que amplían el número de muestras de esta región incluyendo materiales especialmente postargáricos del yacimiento de Gatas.

En Cataluña han sido estudiados los materiales principalmente del área del Bajo Ebro y del Museo de Reus en el proyecto HAR2010-21105-C02-00, publicándose 27 objetos en la monografía de la Solana del Bepo (Montero Ruiz 2017), en relación con este proyecto se han analizado los metales de los poblados de Santa Llúcia (Montero *et al.* 2017) y del Tossal del Mortorum (Montero Ruiz 2017b) ambos en Castellón. También se publicó el punzón de la Cova de la Peseta (Barcelona) (Soriano y Chamón 2012). Además el proyecto SMITH de Mercedes Murillo-Barroso ha estudiado 5 vasijas de reducción del yacimiento de Bauma del Serrat del Pont y se han obtenido datos de minerales y objetos de yacimientos de la Plana de Barcelona como Filmoteca y Reina Amalia gracias a la colaboración con Miquel Molist (UAB).

Para el Cantábrico están disponibles los análisis de los depósitos de Asiego (solo 11 de las 14 hachas) y Gamonedo, además de un puñal de lengüeta de la Cueva del Cuélebre y un hacha plana de Gueraño en la tesis doctoral de Aida Reguera Galán defendida en diciembre de 2015 en la Universidad de Oviedo. También se han podido estudiar los metales del Museo de Santander en colaboración con Pablo Arias y las espadas de Cuevallusa del Instituto Valencia de Don Juan estando en fase de preparación la publicación sobre la metalurgia en Cantabria que incluirá estos resultados.

En Madrid, gracias al proyecto *El patrimonio arqueológico y documental de la Comunidad Autónoma de Madrid: Sistematización, gestión, puesta en valor y difusión desde el ámbito local al marco europeo* (S2007/HUM-543) dirigido por Concepción Blasco, se han podido muestrear una treintena de piezas y restos metalúrgicos de yacimientos campaniformes y de la Edad del Bronce, que se encuentran pendientes de

publicación,² aunque la información ha sido manejada en estudios generales (Montero Ruiz 2017). De la comunidad de Madrid solo se encuentran publicadas 3 piezas del yacimiento de La Serna (Galindo San José *et al.* 2018) y los dos objetos de la necrópolis de Ciempozuelos en la Real Academia de la Historia (Alvárez 2016). Este último trabajo también analiza un total de 9 muestras que proceden de hallazgos en Granada y Asturias principalmente.

De la Comunidad Valenciana, además de los datos ya mencionados de Castellón, los metales del yacimiento campaniforme de La Vital se publicaron con análisis de isótopos de plomo (Rovira y Montero-Ruiz 2011) y están en estudio los metales de Sanxo Llop. En Castilla-La Mancha se han publicado 8 metales de Castillejo de Bonete (Ciudad Real) y 5 de El Acequión (Albacete) (Montero Ruiz *et al.* 2014) y se dispone de los datos de las 7 hachas planas anchas del depósito de Yuncillos (Toledo).

En Andalucía se han publicado algunos análisis de Almizaraque (Almería) (Montero-Ruiz y Murillo-Barroso 2010) y de los yacimientos granadinos del Cerro de San Cristóbal y Cerro de la Encina (Murillo Barroso *et al.* 2015). Bajo la iniciativa de Francisco Rodríguez Vinceiro se analizaron diversos materiales de la provincia de Málaga que han sido publicados recientemente (Murillo-Barroso *et al.* 2018) y las puntas de jabalina del dolmen de La Pastora también han sido estudiadas por Hunt *et al.* (2012) con la publicación de 3 análisis, además de otras 2 jabalinas procedentes de La Pijotilla (Badajoz) y en el artículo de Nocete *et al.* (2010) se discute el resultado de otras 2 jabalinas del dolmen pero depositadas en el Museo de Sevilla sin que se aporten los resultados. El proyecto SMITH de Mercedes Murillo-Barroso ha completado el muestreo de Almizaraque y ha estudiado principalmente los restos metalúrgicos calcolíticos y algunos objetos de Las Pilas y Puente de Santa Bárbara en la Cuenca de Vera (Almería), con un total de 48 muestras para los 3 yacimientos, datos que se encuentran en fase de publicación. Por último, deben mencionarse los metales y restos metalúrgicos de Peñalosa de la publicación de Hunt *et al.* (2011) cuyo muestreo fue ampliado en proyectos posteriores de la Universidad de Granada.

Para Extremadura la información disponible procede del yacimiento de San Blas (Badajoz), resultados que se valoraron en la publicación de Hunt *et al.* (2009), aunque la tabla de análisis aparece publicada en Hunt *et al.* 2012.

La tesis de Pau Sureda defendida en 2015 en la Universidad Pompeu Fabra "Les comunitats prehistòriques pitiüses i la seva interacció social. Aportacions des de l'arqueometal·lúrgia i els espais domèstics" incluía el estudio de algunos materiales de la Edad del Bronce, que se completaron posteriormente con nuevos datos financiados por el Museo de Ibiza que van a ser publicados (Sureda 2018).

2. Una parte de los datos se presentaron como póster en: *Mining in European History and its Impact on Environment and Human Societies - Proceedings for the 1st Mining in European History-Conference of the SFB-HIMAT, 12.-15. November 2009, Innsbruck.*

Por último, la información de Portugal se encuentra recopilada en la tesis de Roland Gauss publicada de forma completa en 2016 con los análisis de los yacimientos de Zambujal, Penedo y Fórnea, pero previamente se habían presentado estudios parciales de los yacimientos de Leceia (Muller y Cardoso 2008) y Vilanova de San Pedro (Muller y Monge Soares 2008).

Plata de la Edad del Bronce

La investigación sobre la procedencia de la plata en la Edad del Bronce cuenta con diversas referencias que se inician con las 2 muestras de la cultura de El Argar (Stos Gale *et al.* 1999) y la tesis de Mark Hunt (2003) en el Suroeste. Posteriormente, el proyecto HAR2011-30131-CO2-01 *La minería en el Alto Guadalquivir. Formas de construcción históricas en la Antigüedad a partir de la producción, consumo y distribución de los metales*, dirigido por Francisco Contreras, realizó el análisis de los metales de Peñalosa y paralelamente Mercedes Murillo-Barroso desarrollaba su tesis doctoral "Producción y consumo de plata en la Península Ibérica: Un análisis comparativo entre la Sociedad argárica y los primeros asentamientos Orientalizantes", defendida en Granada (Murillo-Barroso 2013). La colaboración entre ambas investigaciones dio como resultado la publicación de Bartelheim *et al.* (2012) donde se incluyen la mayoría de los análisis de los yacimientos de Peñalosa, Cerro de la Virgen, Cuesta del Negro, Terrera del Reloj y Pantano de los Bermejales. Finalmente en la tesis de Murillo-Barroso (2013) se incorporaron los análisis de otras 3 piezas argáricas (2 de ellas de El Oficio) depositadas en el Museo Arqueológico de Barcelona.

Beatriz Comendador investigó la procedencia de la plata de la Edad del Bronce en Galicia publicando de manera detallada la composición y los análisis de isótopos de plomo de los objetos de plata de Antas de Ulla (Comendador Rey *et al.* 2014). Pendientes de publicación se encuentran los análisis de las botellas de plata del Tesoro de Villena y de los remaches de las espadas de Cuevallusa, así como algunas piezas sueltas de plata como la Espiral de Trazo en estudio por Lois Armada y un *tutuli* de Cabezo Redondo. En total tenemos datos de 80 objetos a los que se suman los materiales del Proyecto La Bastida: una pieza de El Morrón, otra de Molinos de Papel y 5 piezas más de La Bastida a partir de la representación gráfica publicada (Lull *et al.* 2014: fig. 3) y de otras que hayan podido seguir analizando en los últimos años.

Bronce Final y lingotes de cobre

La metalurgia de base cobre del Bronce Final ha tenido un desarrollo lento. Se inicia con los metales de las cuevas de Carritx y Mussols (Menorca) que encajarían dentro de este periodo cronológico (Stos-Gale 1999) y con el estudio de 5 piezas de la Ría de Huelva (Hunt Ortiz 2001) y un segundo muestreo del mismo depósito (Montero Ruiz *et al.* 2007) que revelaron la diversidad de procedencias del metal. Gracias al proyecto conjunto CSIC-Fundación Presidente de Rusia (RFBR n.º 11-06-9397): *Provincias metalúrgicas Euroasiática y Europea del II milenio a.n.e.: investigación de sus interacciones a partir de*

métodos científico-naturales, dirigido por María Isabel Martínez Navarrete (CSIC) durante los años 2011 y 2012 se pudieron analizar diversos conjuntos como el de Las Lunas (Toledo), Cova de Muricecs (Lleida) y completar el muestreo de la Ría de Huelva (Montero Ruiz *et al.* 2015). También se muestrearon diversos objetos del Museo Arqueológico Nacional como la punta de lanza de San Esteban de Río Sil (Orense) o la espada de Santa Ana de Herrerías (Almería) (Montero Ruiz *et al.* 2016) y diversas hachas de talón, entre las que están las de Monforte de Lemos (Montero-Ruiz *et al.* 2014).

En esos mismos años se empieza a recopilar información de los lingotes de cobre que circulan en la primera mitad del primer milenio AC a partir de los proyectos (HAR2010-21105-CO2-02) *Relación entre materias primas locales y producción metalúrgica: Cataluña meridional como modelo de Contraste* y (HAR2014-52981-R) *Circulación de cobre en el final de la Edad del Bronce del Mediterráneo occidental: Península Ibérica y Cerdeña*. En total se dispone de datos de 31 lingotes, incluidos los de cobre-plomo, y aunque la información ha sido presentada en varias reuniones científicas, la publicación aún no está completada. En el último proyecto enumerado también se han podido estudiar materiales de Portugal (por ejemplo el depósito Quinta de Ervedal), del Museo de Cantabria y algunas muestras del yacimiento alcantino de Peña Negra.

El proyecto Marie Curie ALBIMETH desarrollado por Xosé-Lois Armada en la UCL se centraba en este periodo y ha conseguido muestras de materiales gallegos y del Norte de Portugal; a estos hay que sumar los materiales que están incluidos en los proyectos HAR2017-84142-R: *Producción y deposición masiva de bronce plomados en la transición Bronce Final - Edad del Hierro de la Europa atlántica* y el proyecto de la Xunta de Galicia 10 PXIB 606 016 PR: *From the Workshop to the Body: Metals as Power Expressions in the Late Bronze Age and the Iron Age of NW Iberia*.

Podemos incluir en este apartado, pero con estrecha relación con el siguiente, los análisis dedicados a las fíbulas. Por iniciativa de Carmen Rovira Hortalà se estudiaron un conjunto de 10 piezas (una hebilla, seis fíbulas de pivote, dos de doble resorte y una punta de flecha con aletas) de las necrópolis de Can Piteu-Can Roqueta (Barcelona) (Rovira Hortalà *et al.* 2008). Las fíbulas de codo fueron el interés de Javier Carrasco (Carrasco *et al.* 2014). También debemos mencionar los materiales de las Baleares como el depósito de Can Marià Gallet o el de La Sabina estudiados en la tesis de Pau Sureda (2015).

Metalurgia fenicia

Desde la tesis de Mark Hunt (2003), que incluía un conjunto de restos vinculados con la producción de plata, este momento histórico ha sido uno de los que más atención ha tenido por parte de varios investigadores. De los proyectos de Núria Rafel e Ignacio Montero desde la publicación inicial (Rafel *et al.* 2008) se han desarrollado 2 tesis doctorales: la de Martina Renzi (2013) sobre el yacimiento de La Fonteta cuyos análisis de isótopos se publicaron en

Renzi *et al.* (2009) y la de Mercedes Murillo-Barroso (2013) con los datos de los objetos de plata publicados en el artículo de Murillo-Barroso *et al.* (2016). En estos proyectos se desarrollaron estudios específicos de los yacimientos de Sa Caleta (Ramon *et al.* 2011), Tossal del Mortorum (Montero Ruiz 2017) y el dedicado al cobre de las minas de Linares a partir de la información obtenida en el Bajo Ebro (Montero Ruiz *et al.* 2012). Además, otros yacimientos de los siglos VIII-VI a.C. han sido complementados por trabajos de diversos investigadores como el del Carambolo (Sevilla) (Hunt *et al.* 2010), la necrópolis de Sebes (Tarragona) (Belarte *et al.* 2013), El Pontarró (Tarragona) (Belarte *et al.* 2017), Monte Romero (Huelva) (Stos-Gale 2001), las escorias de Río Tinto (Anguilano *et al.* 2010), Castillejos de Alcorrín (Málaga) (Renzi *et al.* 2016) o el pecio del Bajo de la Campana (Murcia), este último con los resultados comentados pero no publicados de los lingotes de cobre y la galena (Polzer *et al.* 2014) y resultados de los lingotes de estaño (Mederos *et al.* 2017).

Otras investigaciones en marcha son las del depósito de La Colomina (Lleida) por iniciativa de Josep Maria Gallart y la Diputación de Lleida, las de los yacimientos de La Rebanadilla (Málaga) y El Cómic (Cádiz) por impulso de Martina Renzi, o de materiales de los yacimientos de Mas de Mussols y Mianes por la propia Núria Rafel, y Santa Llúcia (Castellón) en colaboración con Gustau Aguilera, y los yacimientos de La Solivella o El Bovalar en colaboración con la Diputación de Castellón.

Sobre la plata, además de los datos ya mencionados de la tesis de Murillo Barroso, se han publicado las piezas de Palacio III (Murillo Barroso *et al.* 2015) y están en vías de publicación los materiales de la tumba del Guerrero (Málaga) (Hunt y Montero 2018).

II Edad del Hierro

Los primeros datos obtenidos de este periodo proceden de los yacimientos de Cataluña investigados por los proyectos ya señalados de Núria Rafel, iniciados con el de la plata prerromana en Cataluña. Aquí se estudiaron materiales de Ampurias, Castellet de Banyoles o Ullastret principalmente de plomo y plata, y especialmente los fragmentos de galena (Montero *et al.* 2008), y posteriormente de yacimientos como Olèrdola o los datos publicados de Torre de la Sal (Montero Ruiz *et al.* 2014) o del Cerro de la Mesa (Montero y Renzi 2012). También con preferencia por el plomo se han estudiado los materiales de Abdera (Adra) (Carpintero *et al.* 2015) y se están estudiando los yacimientos albaceteneses de Jutia y Morra de los Castillejos dentro del proyecto *Comunidades de montaña durante la Edad del Hierro. Paisaje, ritual y producción en el Sureste de la Península Ibérica* (HAR 2015-67355-P) dirigido por Susana González Reyero del Instituto de Historia-CSIC.

El principal estudio de metales de base cobre ha sido la tesis doctoral de Laura Perelló (2017) en la Universidad de Illes Balears dedicada a la tecnología metalúrgica del cobre y del bronce durante el período Postalayótico en Mallorca (ca. s. VI a. C. - s. I a. C.)

y del que ya mencionamos su aportación al conocimiento de los minerales de las Baleares.

Numismática

La investigación sobre monedas también ha adquirido un desarrollo notable en los últimos años. Desde el primer proyecto de la plata prerromana en Cataluña, este aspecto del uso del metal como sistema de valor estuvo presente y se publicaron los primeros datos de monedas de Ampurias (Montero *et al.* 2008) y de algunas monedas celtibéricas de plata (Montero *et al.* 2011). Posteriormente se amplió el estudio también a algunas monedas de bronce de cecas del NE ibérico (Montero *et al.* 2011b). Por iniciativa de Juan Pedro Bellón y María Paz García y Bellido se empezó el estudio de monedas de plata, cobre y bronce recuperadas en el proyecto Baecula (García y Bellido *et al.* 2015) que todavía sigue profundizando la procedencia del metal con nuevos análisis pendientes de publicación. Otro estudio ha sido el de las monedas romanas de Castromaiaor (Lugo) con 9 monedas de plata y otra de bronce plomado (Orejas Saco del Valle *et al.* 2015), mientras que las monedas almohades de la Calle Triana (Sevilla) están pendientes de publicación por parte de Mark Hunt. En 2018 se defendió un trabajo de máster por parte de Rosa María Mercado en el Institut Català d'Arqueologia Clàssica donde se estudiaban las monedas del NE peninsular.

Otro estudio que incorpora análisis de monedas acuñadas en la Península es el de Desauty *et al.* (2011) que cubre desde moneda griega del siglo V a. C. hasta acuñaciones de época moderna, incluyendo monedas de los reinos medievales hispanos.

Lingotes romanos (plomo y cobre)

El comercio del plomo en época romana a través de los conocidos lingotes en barra ha sido un tema que ha recibido especial atención por parte de investigadores principalmente extranjeros. Es, sin duda, Claude Domergue quien ha potenciado su estudio al tratar de confirmar la relación de procedencia que se establecía entre los hallazgos de pecios y su relación con las minas de Iberia a través de la epigrafía. En esta enumeración no mencionamos los hallazgos que se vinculan con la Península, que son muy numerosos, sino solo los yacimientos o lingotes encontrados en España.

Los primeros análisis recopilados proceden del pecio Cabrera 5 (Trincherini *et al.* 2001), seguidos por los de Escombreras 2 y Puerto de Cartagena, así como algunos del Museo Naval de Madrid y del Museo del Lluch en Mallorca (Trincherini *et al.* 2009), de Chipiona (Nesta *et al.* 2011), Cabrera 4 (Domergue *et al.* 2012), de Torre de la Sal (Castellón) y de Ses Figueretes (Ibiza) (Domergue *et al.* 2016).

De manera paralela, en la última década han estado recopilando datos y análisis sobre los lingotes de plomo romanos el proyecto Corpus der römischen Bleibarren (*Corpus massarum plumbearum Romanarum* -CMPR) que incluye también la Península Ibérica (Rothenhöfer *et al.* 2013)

En cuanto a los lingotes de cobre destaca el estudio del pecio de este mismo nombre por Klein *et*

al. 2007) y el de Chipiona ya mencionado por incluir también lingotes de plomo (Nesta *et al.* 2011).

Glandes de Plomo

Otro elemento de plomo que ha despertado el interés de la investigación por conocer la procedencia del metal es el de los glandes de plomo. Algunos objetos de esta tipología de los yacimientos de Olèrdola y La Palma se analizaron en el proyecto *Tecnología y procedencia: plomo y plata en el I milenio AC* (HUM2007-65725-C03-02) pero no fueron publicados. La tesis doctoral de Regine Muller en la Goethe University de Frankfurt se centro en estas piezas (Muller *et al.* 2015), y en España tanto Jaume Noguera (Universidad de Barcelona) como Juan Pedro Bellón (Universidad de Jaén) están realizando estudios complementarios para determinar la procedencia del plomo en época republicana y en relación con la II Guerra Púnica, respectivamente.

Otros temas

La diversidad de temáticas y cronologías de los estudios de procedencia se completa con algunos casos todavía aislados pero que son los primeros pasos para profundizar en futuras investigaciones. Así podemos citar el trabajo sobre los materiales medievales (plomos y bronces) de Medina Azahara (Córdoba) (Gener *et al.* 2014) o el más reciente sobre la aplicación de la técnica LA-MC-ICP-MS a oros calcolíticos y orientalizantes (Nocete *et al.* 2018). También podemos mencionar el estudio junto a Núria Rafel y Josep Gallart sobre la aparición de fragmentos de Galena en diversos yacimientos neolíticos de Cataluña que está tratando de identificar la procedencia del mineral y entender su uso.

Conclusiones

En la enumeración realizada en páginas anteriores puede apreciarse que el número de publicaciones y, sobre todo, de investigaciones con isótopos de plomo en curso es muy numeroso. Se han desarrollado varias tesis doctorales y trabajos de fin de máster que tienen estos análisis como una parte fundamental de su contenido y es evidente que las hipótesis de investigación sobre el comercio y producción de metales necesitan cada vez más este tipo de análisis para su contrastación. La diversidad de temáticas e investigadores que hacen uso de estos análisis son un claro signo de esta consolidación a la que hacíamos mención al inicio del artículo. Pero esto no es un punto de llegada. En la figura 2 se representa la distribución de objetos analizados de todos los periodos por provincias (Portugal se ha dividido en dos áreas: norte y sur) y queda patente el desequilibrio regional en las investigaciones, con amplias zonas de la mitad septentrional de la Península donde apenas se ha iniciado la investigación en contraste con las provincias de Huelva y Tarragona que han recibido una atención preferente.

Durante las dos últimas décadas se han publicado muchos resultados, pero es necesario volver a reinterpretar los datos con la nueva información geológica

de referencia, ausente cuando se realizaron esos estudios, y ver si es posible aportar nuevas propuestas de procedencia en los materiales a los que no se pudo asignar una. Gracias al número creciente de datos disponibles será posible también abordar estudios comparativos a escala peninsular, que hasta la fecha han quedado limitados a los yacimientos o regiones del entorno próximo a los yacimientos investigados. Ya disponemos de datos en bastantes zonas peninsulares para abordar la situación durante el Calcolítico y Edad del Bronce (figura 3) como Andalucía occidental y oriental, sur de Portugal, Madrid, Murcia, Comunidad Valenciana, Cantábrico y Cataluña, aunque como se ha indicado antes (figura 2) hay zonas del Norte y centro peninsular apenas investigadas. La combinación de análisis elemental e isótopos de plomo se presenta como imprescindible para explicar la organización de la producción en estas primeras fases metalúrgicas. Además, la Península Ibérica es una región clave para entender las relaciones comerciales y culturales en el Mediterráneo y Europa, especialmente desde el Bronce Final en adelante.

Sin embargo, el éxito de estos futuros estudios debido a las complejidades de interpretación de los análisis depende de que se trabaje y complete la información por distintas vías:

- Actualizar y completar la información geológica de referencia. Por un lado es necesario que parte de la información geológica de referencia hoy día disponible se actualice con nuevos análisis más precisos que los publicados, esto afecta especialmente a algunos trabajos anteriores al año 2000 (por ejemplo, Arias *et al.* 1996), pero también que se obtenga más información de las zonas con pocos datos para definir mejor los campos isotópicos. Pero, sobre todo, es preciso que se muestreen las zonas aún sin análisis.
- Continuar con la identificación de las minas prehistóricas y actualizar un catálogo de aquellas que presentan indicios de su explotación, aunque no sea posible precisar cronológicamente en qué momentos lo estuvieron. Las propuestas de procedencia refuerzan su valor si las minas que se sugieren tienen indicios reales de su aprovechamiento en la antigüedad. Cabe muestrear adecuadamente todas las minas con indicios de explotación antigua.
- Emplear las técnicas de análisis con la más alta precisión. Debido a que los solapamientos parciales entre mineralizaciones son cada vez más numerosos a consecuencia del aumento de datos geológicos a comparar, el valor en la asignación de las procedencias dependerá de que se pueda justificar claramente la exclusión de minas; de otro modo, la ambigüedad de los resultados conducirá a debates sin solución. En este punto hay que llamar la atención sobre los trabajos que sobre el plomo de época romana están realizando en el Centro de Ciências e Tecnologias Nucleares de la Universidade de Lisboa (por ejemplo Gomes *et al.* 2017). Al usar un cuadrupolo (Q-ICP-MS) en vez de un multicolector (MC-ICP-MS) en la espectrometría de masas, los resultados del primero ofrecen, por ejemplo, errores siempre superiores al 0,1% en la ratio 208Pb/204Pb (alcanzando hasta el

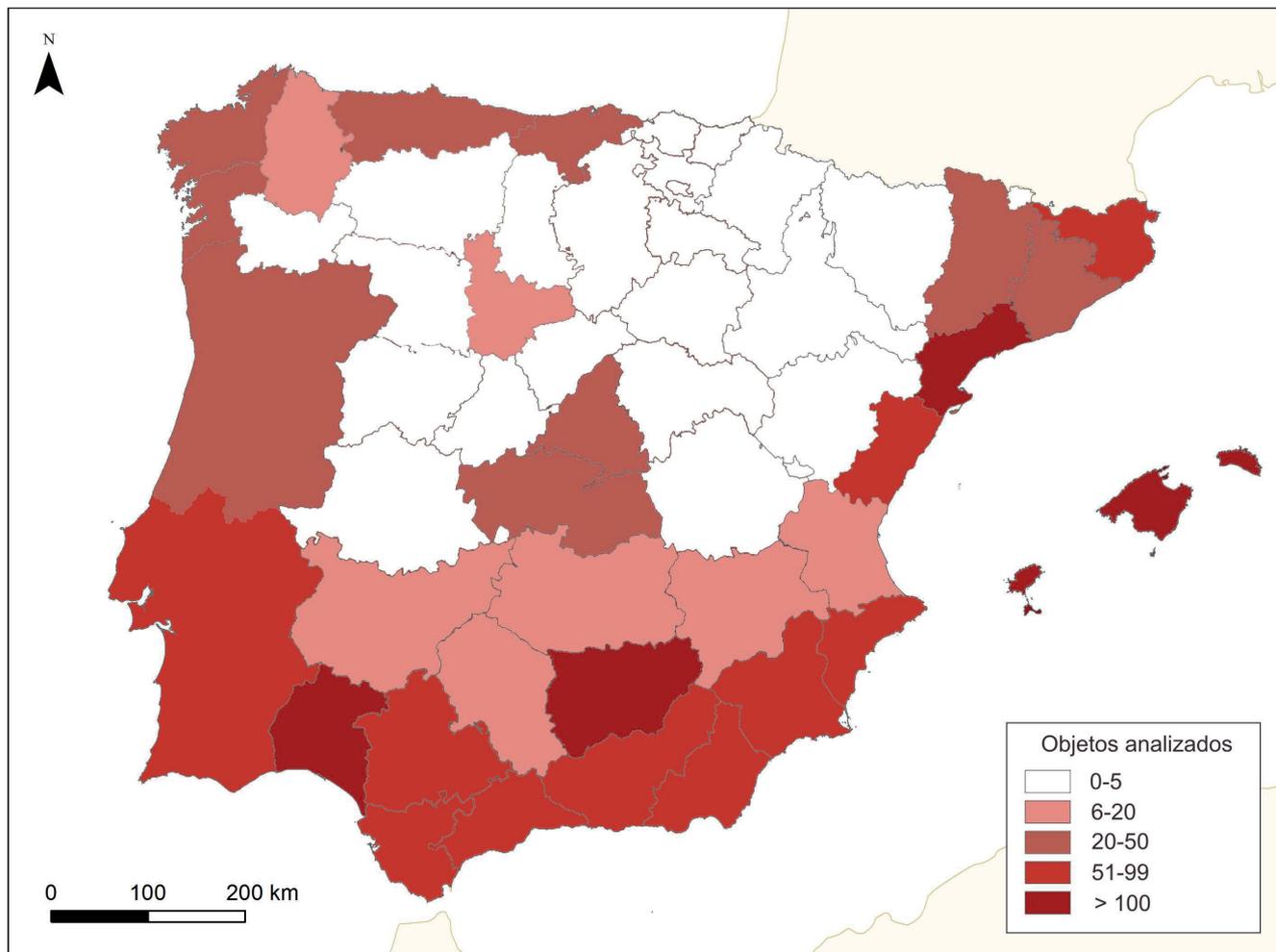


Figura 2. Mapa con el número de objetos por provincias analizados por isótopos de plomo a partir de la información recopilada en la base de datos del proyecto de arqueometalurgia (mayo de 2018).

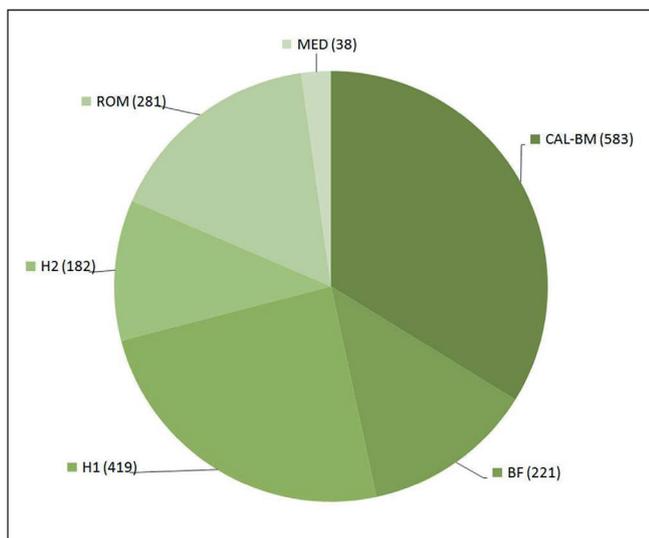


Figura 3. Gráfico con la cuantificación por periodos cronológicos de objetos analizados con isótopos de plomo (datos obtenidos de la bibliografía y análisis inéditos recopilados en la base de datos del Proyecto de Arqueometalurgia de la Península).

0,32%), mientras que los equipos que emplean el multicolector obtienen resultados con errores habitualmente por debajo del 0,003%, es decir, una precisión superior a un orden de magnitud. Estos análisis pueden dar una primera aproximación, mostrar diferencias entre grupos de materiales y detectar pautas de reciclado, pero no permiten diferenciar con claridad por ejemplo entre la procedencia del plomo de minas de Linares o del Valle de la Alcudia.

- Desarrollar nuevas formas de análisis de los datos en combinación con otros parámetros (por ejemplo, proporción de determinados elementos) que permitan observar comportamientos explicativos de los resultados. En este sentido pueden mencionarse las propuestas de Pollard and Bray (2015) con el plomo o la de Wood *et al.* (e. p.) para detectar líneas de mezcla en los objetos de plata a partir del contenido de oro.

Además, actualmente se están desarrollando investigaciones paralelas con la aplicación de otros isótopos, como los de plata (Desaulty *et al.* 2011), cobre o estaño (Balliana *et al.* 2013),³ cuyo empleo

3. Sobre las investigaciones con isótopos de estaño puede consultarse el proyecto europeo del ERC dirigido por E. Per-

todavía es reducido pero que complementan los isótopos de plomo y que esperan de un mayor uso conforme vayan concretando sus potencialidades y temas de aplicación.

Hemos centrado esta revisión en la aplicación de los análisis de isótopos de plomo para la procedencia de metales, pero la técnica es también aplicable a otros materiales arqueológicos o patrimoniales. Entre ellos se puede citar el vidrio, los pigmentos (cinabrio), los vidriados de cerámica o incluso se ha realizado el planteamiento de estudios sobre huesos humanos o animales para determinar la movilidad a partir de la contaminación por plomo. Todo ello apunta a que en las próximas décadas asistiremos a un mayor uso de estos análisis para ayudar a resolver temas de investigación en arqueología.

Agradecimientos

A los miembros del Servicio de Geocronología y Geoquímica Isotópica de la Universidad del País Vasco por la información sobre los inicios del laboratorio y por su permanente disposición durante todos estos años de colaboración a aclarar cualquier duda sobre los resultados de los análisis de isótopos de plomo. A los diversos investigadores citados a lo largo del texto que decidieron iniciar estudios con isótopos de plomo como parte de sus investigaciones y que me han permitido mencionar sus trabajos aún inéditos o en vías de publicación.

Ignacio Montero Ruiz

Instituto de Historia-CSIC
Centro de Ciencias Humanas y Sociales
C/ Albasanz, 26-28. Madrid 28037
ignacio.montero@cchs.csic.es

nicka *Bronze Age tin - Tin isotopes and the sources of Bronze Age tin in the old World* que recoge las diversas publicaciones realizadas: <<https://www.researchgate.net/project/Bronze-Age-tin-Tin-isotopes-and-the-sources-of-Bronze-Age-tin-in-the-old-World-ERC-project>>.

Bibliografía

- ALVÁREZ PENANES, P. (2016). Medida de Relaciones isotópicas de plomo en muestras arqueológicas mediante MC-ICP-MS. TFM Universidad de Oviedo. <http://digibuo.uniovi.es/dspace/bitstream/10651/39068/6/TFM_Pelajo%20%C3%81lvarez%20Penanes.pdf>.
- ANGUILANO, L., REHREN, TH., MÜLLER, W. y ROTHENBERG, B. (2010). The importance of lead in the silver production at Riotinto (Spain). *Archaeosciences. Revue d'Archéométrie*, 34: 269-276.
- ARBOLEDAS MARTÍNEZ, L., ALARCÓN GARCÍA, E., CONTRERAS CORTÉS, F., MORENO ONORATO, A., PADILLA FERNÁNDEZ, J. J. (2015). La mina de José Martín Palacios-Doña Eva (Baños de la Encina, Jaén): la primera explotación minera de la Edad del Bronce documentada en el sureste de la Península Ibérica. *Trabajos de Prehistoria*, 72(1): 158-175.
- ARIAS, D., CORRETGÉ, L. G., SUÁREZ, O., VILLA, L., CUESTA, A. y GALLASTEGUI, G. (1996). Lead and sulfur isotope compositions of the Ibias gold vein system (NW Spain): genetic implications. *Economic Geology*, 91: 1292-1297.
- ARRIBAS, A., TOSDAL, R. M. (1994). Isotopic composition of Pb and S in base and precious metal deposits of the Betic Cordillera, Spain: origin and relationship to other European deposits. *Economic Geology*, 89: 1074-1093.
- ARTIOLI, G. (2010). *Scientific Methods and Cultural Heritage*. Oxford University Press. Oxford.
- BALLIANA, E., ARAMENDIA, M., RESANO, M., BARBANTE, C., VANHAECKE, F. (2013). Copper and tin isotopic analysis of ancient bronzes for archaeological investigation: development and validation of a suitable analytical methodology. *Anal Bioanal Chem* 405: 2973-2986. doi: 10.1016/j.chemgeo.2009.01.015
- BARON, S., RICO, CH. y ANTOLINOS MARÍN, J. A. (2017). Le complexe d'ateliers du Cabezo del Pino (Sierra Minera de Cartagena-La Unión, Murcia) et l'organisation de l'activité minière à *Carthago Noua* à la fin de la République romaine. Apports croisés de l'archéologie et de la géochimie. *Archivo Español de Arqueología*, 90: 147-169.
- BARTELHEIM, M., CONTRERAS, F., MORENO, A., MURILLO-BARROSO, M. y PERNICKA, E. (2012). The silver of the South Iberian El Argar culture: a first look into production and distribution. *Trabajos de Prehistoria*, 69 (2): 293-306.
- BELARTE, M. C., CANELA, J., EUBA, I., LÓPEZ, D. y VALENZUELA, S. (2017). ¿Depósito votivo o destrucción de necrópolis?: el silo protohistórico de El Pontarró (La Secuita, Tarragona). *Trabajos de Prehistoria*, 74(2): 355-374.
- BELARTE, M. C., MALGOSA, A., NOGUERA, J., OLMOS, P. y PIGA, G. (2013). Las necrópolis protohistóricas tumulares de Cataluña meridional: el ejemplo de Sebes (Flix, Tarragona). *Trabajos de Prehistoria*, 70(2): 295-314.
- BRILL, R. H. y WAMPLER, J. M. (1965). Isotope ratios in archaeological objects of lead. En: *Application of science in the examination of works of art: proceedings of the seminar September 7-16, 1965*. Museum of Fine Arts. Boston: 155-166.
- BRILL, R. H. y WAMPLER, J. M. (1967). Isotope studies of ancient lead. *American Journal of Archaeology*, 71: 63-77.
- CANALS, A. y CARDELLACH, E. (1997). Ore lead and sulphur isotope pattern isotope from the low temperatures veins of the Catalanian Coastal Ranges (NE Spain). *Mineralium Deposita*, 32: 243-249.
- CARDELLACH, E., CANALS, A. y PUJALS, L. (1996). La composición isotópica del azufre y del plomo en las mineralizaciones de Zn-Pb del Valle de Aran (Pirineo central) y su significado metalogénico. *Estudios Geológicos*, 52: 189-195.
- CARPINTERO, S., LÓPEZ CASTRO, J. L. y MONTERO RUIZ, I. (2015). Metales y metalurgia en la Abdera fenicia. Datos isotópicos sobre la procedencia e intercambio de materias primas. *Archivo Español de Arqueología*, 88: 7-23.
- CARRASCO RUS, J., MARTÍNEZ-SEVILLA, F., PACHÓN ROMERO, J. A. y MONTERO RUIZ, I. (2014). Tecnología, tipología y cronología de las fibulas de codo antiguas del tipo Monachil y sus relaciones mediterráneas. *Trabajos de Prehistoria*, 71 (1): 95-112.
- COMENDADOR REY, B., MILLOS, J. y ÁLVAREZ-IGLESIAS, P. (2014). Provenance of the prehistoric silver set of Antas de Ulla, north-western Iberia, using lead stable isotope ratios. En: HARALD MELLER, H., RISCH, R. and PERNICKA, E. (eds.). *Metals of Power - Early gold and silver*. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, 11/ I. Halle: 285-308.
- CONTRERAS CORTÉS, F. (coord.) (2000). *Proyecto Peñalosa. Análisis histórico de las comunidades de la Edad del Bronce del Piedemonte Meridional de Sierra Morena y Depresión Linares-Bailen*. Arqueología Monográfica 10. Junta de Andalucía. Sevilla.
- CRADDOCK, P. T., FREESTONE, I. C., GALE, N. H., MEEKS, N. D., ROTHENBERG, B. y TITE, M. S. (1985). The investigation of a small heap of silver smelting debris from Río Tinto, Huelva, Spain. En: P. T. CRADDOCK y M. J. HUGHES (ed.). *Furnaces and smelting technology in antiquity*. British Museum Occasional Papers, 48: 199-217.
- DAYTON, J. E. y DAYTON, A. (1986). Uses and limitations of lead isotopes in archaeology. En: J. S. OLIN y M. J. BLACKMANN (eds.). *Proceedings of the 24th International Archaeometry Symposium*. Smithsonian Institution Press Washington D.C.: 13-41.

- DESALTY, A. M., TELOUK, P., ALBALAT, E. y ALBARADE, F. (2011). Isotopic Ag-Cu-Pb Record of Silver Circulation through 16th-18th Century Spain. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108, 22: 9002-9007.
- DOMERGUE, C. (1987). *Catalogue des mines et des fonderies antiques de la Péninsule Ibérique*. 2 vols. Publications de la Casa de Velázquez, série Archéologie, 8. Madrid.
- DOMERGUE, C. (1990). *Les mines de le Péninsule Ibérique dans l'Antiquité romaine*. Vol. 127. Collection de l'Ecole Française de Rome. Roma.
- DOMERGUE, C., QUARATI, P., NESTA, A., OBEJERO, G. y TRINCHERINI P. R. (2012). Les isotopes du plomb et l'identification des lingots de plomb romains des mines de Sierra Morena. Questions de méthode: l'exemple des lingots de l'épave Cabrera 4. *Pallas*, 90: 243-256.
- DOMERGUE, C., DI VACRI, M. L., FERNÁNDEZ IZQUIERDO, A., FERRANTE, M., NESTA, A., NISI, S., QUARATI, P., RICO, CHR y TRINCHERINI, P. R. (2016). Les lingots de plomb hispano-romains de Q. Vireius. *Quaderns de Prehistòria i Arqueologia de Castelló*, 34: 177-196.
- ESCANILLA, N. (2016). Recursos minerales de cobre y su explotación prehistórica en el sudeste peninsular. El valle del Guadalentín. Tesis doctoral inédita. Universidad Autónoma de Barcelona.
- GALE, N. (1991). Copper oxide ingots: their origin and their place in the Bronze Age metals trade in the Mediterranean. En: N. H. GALE (ed.). *Bronze Age trade in the Mediterranean*. Studies in Mediterranean Archaeology XC. Paul Astroms Forlag. Sweden: 197-239.
- GALE, N. H. y STOS-GALE, Z. A. (2000). Lead isotope analyses applied to provenance studies. En: E. CILIBERTO y G. SPOTO (eds.). *Modern Analytical Methods in Art and Archaeology*. Wiley. New York: 503-584.
- GALINDO SAN JOSÉ, L., SÁNCHEZ SÁNCHEZ-MORENO, V. M. y MONTERO RUIZ, I. (2018). Metalurgia en el yacimiento de La Serna, en Arganda del Rey. *Actas de la Reunión de Arqueología Madrileña (2015/2016)*.
- GARCÍA Y BELLIDO, M.^a P., BELLÓN, J. P. y MONTERO RUIZ, I. (2015). La moneda de un campo de batalla: Baecula. En: J. P. BELLÓN, A. RUIZ, M. MOLINOS, C. RUEDA y F. GÓMEZ (eds.). *La segunda guerra Púnica en la Península Ibérica. Baecula, arqueología de una batalla*. Universidad de Jaén. Jaén: 397-425.
- GARCÍA-SANSEGUNDO, J., MARTIN-IZARD, A. y GAVALDA, J. (2014). Structural control and geological significance of the Zn-Pb ores formed in the Benasque Pass area (Central Pyrenees) during the post-late Ordovician extensional event of the Gondwana margin. *Ore Geology Reviews*, 56: 516-527.
- GAUSS, R. (2016). Zambujal und die Anfänge der Metallurgie in der Estremadura (Portugal). Technologie der Kupfergewinnung, Herkunft des Metalls und soziokulturelle Bedeutung der Innovation. *Früher Bergbau und Metallurgie auf der Iberischen Halbinsel*, Faszikel 1. Iberia Archaeologica 15. Wasmuth Verlag. Tübingen.
- GENER, M., MONTERO-RUIZ, I., MURILLO-BARROSO, M., MANZANO, E. y VALLEJO, A. (2014). Lead provenance study in medieval metallic materials from Madinat al-Zahra (Medina Azahara, Córdoba). *Journal of Archaeological Science*, 44: 154-163.
- GOMES, S. S., ARAÚJO, M. F., SOARES, A. M. M. y CORREIA, V. H. (2017). Provenance evidence for Roman lead artefacts of distinct chronology from Portuguese archaeological sites. *Journal of Archaeological Science*, Reports 16: 149-156.
- GRAESER, S. y FRIEDRICH, G. (1970). Zur Fragestellung und Genese der Blei-Zink Vorkommen der Sierra de Cartagena in Spanien. *Mineralium Deposita*, 5 (4): 365-374.
- HERMANN, M. H. (2014a). La zona minera de s'Argentera, isla de Ibiza (Islas Baleares). *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 24: 301-318.
- HERMANN, M. H. (2014b). Avances en el estudio histórico de la mina de galena de Bunyola (Isla de Mallorca). *Sagvntvm (P.L.A.V.)*, 46: 189-200.
- HUELGA-SUÁREZ, G., MOLDOVAN, M., SUÁREZ FERNÁNDEZ, M., DE BLAS CORTINA, M. Á. y GARCÍA ALONSO, J. I. (2014a). Defining the Lead Isotopic Fingerprint of Copper Ores from North-West Spain: The El Milagro Mine (Asturias). *Archaeometry*, 56(1): 88-101.
- HUELGA-SUÁREZ, G., MOLDOVAN, M., SUÁREZ FERNÁNDEZ, M., DE BLAS CORTINA, M. Á. y GARCÍA ALONSO, J. I. (2014b). Isotopic Composition of Lead in Copper Ores and a Copper Artefact from the La Profunda Mine (León, Spain). *Archaeometry*, 56(4): 651-664.
- HUELGA-SUÁREZ, G., MOLDOVAN, M., SUÁREZ FERNÁNDEZ, M., DE BLAS CORTINA, M. Á., VANHAECKE, F. y GARCÍA ALONSO, J. I. (2012). Lead isotopic analysis of copper ores from the Sierra El Aramo (Asturias, Spain). *Archaeometry*, 54(4): 685-697.
- HUNT ORTIZ, M. A. (1998). Análisis de isótopos de plomo aplicado a la arqueología. En: J. FERNÁNDEZ MANZANO y F. J. SARABIA. *Arqueometalurgia del bronce. Introducción a la metodología de trabajo*. Studia Archaeologica, 86. Universidad de Valladolid. Valladolid: 99-108.
- HUNT ORTIZ, M. A. (2001). El depósito de la Ría de Huelva: datos isotópicos para la determinación de su procedencia. En: GÓMEZ TUBÍO, RESPALDIZA, M. A. y PARDO, M.^a L. (eds.). *III Congreso Nacional de Arqueometría*: 487-496
- HUNT ORTIZ, M. A. (2003). *Prehistoric Mining and Metallurgy in South West Iberian Peninsula*. BAR, International Series, 1188. Archaeopress. Oxford.
- HUNT ORTIZ, M., CONTRERAS CORTÉS, F. y ARBOLEDAS MARTÍNEZ, L. (2011). La procedencia de los recursos

- minerales metálicos en el poblado de la edad de bronce de Peñalosa (Baños de la Encina, Jaén). En: *Actas del quinto congreso internacional sobre minería y metalurgia históricas en el suroeste europeo (León - (2008). Libro en homenaje a Claude Domergue*. Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero. Madrid: 195-206.
- HUNT ORTIZ, M. A., MARTÍNEZ NAVARRETE, M. I., HURTADO PÉREZ, V. y MONTERO-RUIZ, I. (2012). Procedencia de las puntas de jabalina del Dolmen de la Pastora (Valencina de la Concepción, Sevilla). *Trabajos de Prehistoria*, 69(2): 357-374.
- HUNT, M. y MONTERO RUIZ, I. (2018). Estudio tecnológico y de procedencia del ajuar metálico de la tumba del Guerrero. En: D. GARCÍA GONZÁLEZ, S. LÓPEZ CHAMIZO y E. GARCÍA ALFONSO (eds.). *La Tumba del Guerrero. Un hallazgo excepcional en la Málaga del siglo VI a.C.* Arqueología Monografías. Junta de Andalucía, Consejería de Cultura. Sevilla.
- HUNT ORTIZ, M. A., MONTERO RUIZ, I., ROVIRA LLORENS, S., FERNÁNDEZ FLORES, Á. y RODRÍGUEZ AZOGUE, A. (2010). Estudio arqueométrico del registro de carácter metálico y metalúrgico de las campañas 2002-2005 en el yacimiento de El Carambolo (Camas, Sevilla). En: M. L. DE LA BANDERA y E. FERRER (ed.). *El Carambolo. 50 años de un tesoro*. Universidad de Sevilla. Sevilla: 271-296.
- HUNT ORTIZ, M. A., LLULL ESTARELLAS, B., PERELLÓ MATEO, L. y SALVÀ SIMONET, B. (2014). Aprovechamiento de recursos cupríferos en la Edad del Bronce de Menorca: la mina de Sa Mitja Lluna (Illa den Colom). *Cuadernos de Prehistoria y Arqueología de la Universidad de Granada*, 24: 45-109.
- KLEIN, S., RICO, CHR., LAHAYE, Y., VON KAENEL, H. M., DOMERGUE, C. y BREY, G. P. (2007). Copper ingots from the western Mediterranean Sea: chemical characterisation and provenance studies through lead- and copper isotope analyses. *Journal of Roman Archaeology*, 20.1: 202-221.
- KLEIN, S., DOMERGUE, C., LAHAYE, Y., BREY, G. P. y VON KAENEL, H.-M. (2009). The lead and copper isotopic composition of copper ores from the Sierra Morena (Spain). *Journal of Iberian Geology*, 35: 59-68.
- LARANJEIRA, M. F. y FRONTEIRA E SILVA, M. E. (1968). Isotopic analyses of Roman lead from Conimbriga and of galena from neighbouring mines. *Revista Portuguesa de Química*, 10: 55-56.
- LULL, V., MICÓ, R., RIHUETE HERRADA, C. y RISCH, R. (2014). The social value of silver in El Argar. En: HARALD MELLER, H., RISCH, R. and PERNICKA, E. (eds.). *Metals of Power - Early gold and silver*. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, 11/ I. Halle: 557-576.
- MARCOUX, E. (1998). Lead isotope systematics in the giant massive sulphide deposits in the Iberian Pyrite belt. *Mineralium Deposita*, 33 (1-2): 45-58.
- MARCOUX, É., PASCUAL, E. y ONÉZIME, J. (2002). Hydrothermalisme anté-Hercynien en Sud-Ibérie : apport de la géochimie isotopique du plomb. *Geoscience*, 334: 259-265.
- MEDEROS, A., CHAMÓN, J. y GARCÍA ALONSO, J. I. (2017). Análisis de isótopos de plomo de lingotes de estaño del pecio fenicio del Bajo de la Campana (Murcia, España). En: M^a. MARTÍNEZ ALCALDE, J. M. GARCÍA CANO, J. BLÁNQUEZ y A. INIESTA (eds.). *Mazarrón II. Contexto arqueológico, viabilidad científica y perspectiva patrimonial del barco B-2 de la bahía de Mazarrón (Murcia). En homenaje a Julio Mas García (Mazarrón, 2013)*. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid: 428-443.
- MONTERO RUIZ, I. (2002). Metal y circulación de bienes en la Prehistoria Reciente. *Cypsela*, 14: 55-68.
- MONTERO-RUIZ, I. (2017). La Solana del Bepo from an archaeometallurgical perspective. En: N. RAFEL, I. SORIANO y S. DELGADO-RAACK (eds.). *A prehistoric copper mine in the North-East of the Iberian Peninsula: Solana del Bepo (Ulldemolins, Tarragona)*. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, extra 2: 65-79.
- MONTERO RUIZ, I. (2018). The Archaeometallurgical perspective. En: N. RAFEL, M. A. HUNT ORTIZ, I. SORIANO, S. DELGADO-RAACK (eds.). Una mina prehistórica de cobre en el nordeste de la Península Ibérica: la mina de la Turquesa o del Mas de les Moreres (Cornudella de Montsant, Tarragona, España). *Revista d'Arqueologia de Ponent*, extra 3: 63-72.
- MONTERO RUIZ, I. (2017). Minería y circulación del cobre en la Prehistoria Reciente de la Península Ibérica. En: O. PUCHE RIART, M. AYARZAGÜENA SANZ, J. FERNANDO LÓPEZ CIDAD y J. POUS DE LA FLOR (eds.). *Minería y metalurgia históricas en el sudoeste europeo. Nuestras Raíces Mineras*. SEDPGYM - VALORIZA MINERÍA. Madrid: 13-26.
- MONTERO-RUIZ, I. y RENZI, M. (2012). Metalurgia en la Meseta Sur: síntesis sobre el primer milenio AC. En: J. MORÍN DE PABLOS y D. URBINA (eds.). *El primer milenio a.C. en la Meseta Central. De la longhouse al oppidum*. Vol. I. Primera Edad del Hierro. Audema. Madrid: 341-350.
- MONTERO RUIZ, I., AGUILLELLA, G. y ROVIRA-HORTALÁ, M. C. (2014). Plomo metálico en yacimientos de la I Edad del Hierro en la Provincia de Castellón: Explotación de recursos mineros y circulación del metal. *Actas del X Congreso Ibérico de Arqueometría (Castellón, 16-18 octubre (2013))*. Castellón: 200-214.
- MONTERO RUIZ, I. y HUNT ORTIZ, M. (2006). Aplicació d'anàlisis d'isòtops en la investigació arqueometal·lúrgica. *Cota Zero*, 21: 87-95.
- MONTERO RUIZ, I., HUNT ORTIZ, M. A. y SANTOS ZALDUEGUI, J. F. (2007). El depósito de la Ría de Huelva: procedencia del metal a través de los resultados de análisis de Isótopos de Plomo. En: J. CELIS, G. DELIBES DE CASTRO, J. FERNÁNDEZ MANZANO y L. GRAU LOBO (eds.). *El hallazgo leonés de Valdevimbre y los depósitos*

- del Bronce Final Atlántico en la Península Ibérica. Estudios y Catálogos 17. Museo de León: 194-209.
- MONTERO RUIZ, I., GENER, M., HUNT, M., RENZI, M. y ROVIRA, S. (2008). Caracterización analítica de la producción metalúrgica protohistórica de plata en Cataluña. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 18: 292-316.
- MONTERO RUIZ, I., CASTANYER, P., GENER, M., HUNT, M. A., MATA, J. M., PONS, E., ROVIRA LLORENS, S., ROVIRA HORTALÀ, C., RENZI, M., SANTOS RETOLAZA, M. y SANTOS ZALDUEGUI, J. F. (2009b). Lead and silver metallurgy in Emporion (L'Escala, Girona, Spain). En: *Archaeometallurgy in Europe (2007). 2nd International Conference, Grado-Aquileia*. Selected Papers: 423-434.
- MONTERO-RUIZ, I., GENER, M., RENZI, M., HUNT, M., ROVIRA, S. y SANTOS-ZALDUEGUI, J. F. (2009a). Provenance of lead in First Iron Age sites in Southern Catalonia (Spain). En: J. F. MOREAU, R. AUGER, J. CHABOT and A. HERZOG (eds.). *Proceedings ISA (2006) 36th International Symposium on Archaeometry (2-6 may, 2006, Quebec city, Canada)*. Cahiers d'Archéologie du CELAT, 25. Série archéométrie, 7. Quebec: 391-398.
- MONTERO RUIZ, I., SANTOS RETOLAZA, M., CASTANYER MASOLIVER, P., HUNT ORTIZ, M., PONS BRU, E., ROVIRA HORTALÀ, C. y ROVIRA LLORENS, S. (2011). Estudio de procedencia del metal en monedas prerromanas. En: *Actas del V Congreso Internacional sobre Minería y Metalurgia Históricas en el Suroeste Europeo (León-2008). Libro en Homenaje a Claude Domergue*. SEDPGYM: 312-325.
- MONTERO RUIZ, I., PERÉZ, A. y RAFEL, N. (2011). Sobre la procedencia de los metales de las primeras monedas del NE ibérico. Aplicación de análisis de isótopos de plomo. En: M.^a P. GARCÍA-BELLIDO, L. CALLEGARIN y A. JIMÉNEZ (eds.). *Barter, Money and coinage in the ancient Mediterranean (10th-1st Century BC)*. Aneges de Archivo Español de Arqueología, LVIII: 203-212.
- MONTERO-RUIZ, I., RAFEL, N., ROVIRA, M. C., ARMADA, X.-L., GRAELLS, R., HUNT, M., MURILLO-BARROSO, M., RENZI, M. y SANTOS, M. (2012). El cobre de Linares (Jaén) como elemento vinculado al comercio fenicio en El Calvari de El Molar (Tarragona). *Menga*, 3: 167-186.
- MONTERO RUIZ, I., BENÍTEZ DE LUGO ENRICH, L., ÁLVAREZ GARCÍA, H. J., GUTIÉRREZ-NEIRA, P. C., MURILLO-BARROSO, M., PALOMARES ZUMAJO, N., MENCHÉN HERREROS, G., MORALEDA SIERRA, J. y SALAZAR-GARCÍA, D. C. (2014). Cobre para los muertos. Estudio arqueométrico del material metálico procedente del monumento megalítico prehistórico de Castillejo del Bonete (Terrinches, Ciudad Real). *Zephyrus*, LXXIII (1): 109-132.
- MONTERO-RUIZ, I. y MURILLO-BARROSO, M. (2010). La producción metalúrgica en las sociedades argáricas y sus implicaciones sociales: una propuesta de investigación. *Menga. Revista de Prehistoria de Andalucía*, 1: 37-51.
- MONTERO-RUIZ, I., GARCÍA-VUELTA, O., ARMADA, X.L. (2014). Estudio arqueometalúrgico del depósito de hachas de talón de Distriz (Monforte de Lemos, Lugo). *Sautuola*, XIX: 139-156.
- MONTERO-RUIZ, I., GALLART, J., GARCÍA-VUELTA, O. y MARTÍNEZ-NAVARRETE, M. I. (2015). Homogénéité ou hétérogénéité dans le métal des dépôts de l'Âge du Bronze: estimations sur leur formation à partir des isotopes du plomb. *L'Anthropologie*, 119: 89-105.
- MONTERO RUIZ, I., MARTÍNEZ NAVARRETE, M. I. y GALÁN, E. (2016). Objetos o materia prima: problemas en la interpretación de procedencias con análisis de isótopos de plomo. *Boletín del Museo Arqueológico Nacional*, 34: 81-98.
- MONTERO-RUIZ, I., MURILLO-BARROSO, M., AGUILELLA, G. y ROVIRA, S. (2017). Small scale Bronze Age metallurgy: new data from Santa Llúcia (Alcossebre, Castellón, Spain). En: MONTERO RUIZ, I. y PEREA, A. (eds.). *Archaeometallurgy in Europe IV*. Bibliotheca Praehistorica Hispana XXXIII. Editorial CSIC. Madrid: 79-89.
- MULLER, R. y CARDOSO, J. L. (2008). The origin and use of copper at the Chalcolithic fortification of Leceia, Portugal. *Madriider Mitteilungen*, 49: 64-93.
- MULLER, R. y SOARES, A. M. M. (2008). Traces of early copper production at the Chalcolithic fortification of Vila Nova de Sao Pedro, Portugal. *Madriider Mitteilungen*, 49: 94-114.
- MÜLLER, R., BREY, G. P., SEITZ, H.-M. y KLEIN, S. (2015). Lead isotope analyses on Late Republican sling bullets. *Archaeological and Anthropological Sciences*, 7: 473-485.
- MUHLY, J. D. (1991). The development of copper metallurgy in Late Bronze Age Cyprus. En: N. H. GALE (ed.). *Bronze Age trade in the Mediterranean*. Studies in Mediterranean Archaeology XC. Paul Astroms Forlag. Sweden: 180-196.
- MUNOZ, M., BARON, S., BOUCHER, A., BÉZIAT, D., SALVI, S. (2016). Mesozoic vein-type Pb-Zn mineralization in the Pyrenees: Lead isotopic and fluid inclusion evidence from the Les Argentières and Lacore deposits. *Geoscience*, 348: 322-332.
- MURILLO-BARROSO, M. (2013). Producción y consumo de plata en la Península Ibérica: Un análisis comparativo entre la sociedad argárica y los primeros asentamientos orientalizantes. Tesis. Universidad de Granada. <<https://hera.ugr.es/tesisugr/21607497.pdf>>.
- MURILLO-BARROSO, M., MONTERO RUIZ, I. y BARTELHEIM, M. (2014). Native silver resources in Iberia. En: H. HARALD MELLER, R. RISCH, y E. PERNICKA (eds.). *Metals of Power - Early gold and silver*. Tagungen des Landesmuseums für Vorgeschichte Halle, 11/ I. Halle: 257-268.
- MURILLO-BARROSO, M., MONTERO RUIZ, I. y ARANDA JIMÉNEZ, G. (2015). An insight into the organisation of metal production in the Argaric society. *Journal of Archaeological Science: Reports*, 2: 141-155.
- MURILLO-BARROSO, M., MARTINÓN-TORRES, M., GARCÍA SANJUÁN, L., WHEATLEY, D., HUNT ORTIZ, M. A., FORTEZA GONZÁLEZ, M., HERNÁNDEZ ARNEDE, M. J. (2015). New objects in old structures. The Iron Age hoard of the

- Palacio III megalithic funerary complex (Almadén de la Plata, Seville, Spain). *Journal of Archaeological Science*, 57: 322-334.
- NAVARRO-CIURANA, D., CARDELLACH, E., VINDEL, E., GRIERA, A., GÓMEZ-GRASA, D., CORBELLA, M. (2017). Sulfur and lead isotope systematics: Implications for the genesis of the Riópar Zn-(Fe-Pb) carbonate-hosted deposit (Prebetic Zone, SE Spain): *Ore Geology Reviews*, 91: 928-944.
- NEIVA, A. M. R., ANDRAS, P. y RAMOS, J. M. F. (2008). Antimony quartz and antimony-gold quartz veins from northern Portugal. *Ore Geology Reviews*, 34: 533-546.
- NESTA, A., KLEIN, S., QUARATI, P., TRINCHERINI, P. R., RICO, CHR., DOMERGUE C. (2011). Sobre el origen de los lingotes de Chipiona. Aportación del método de los isótopos del plomo. *Habis*, 42: 191-207.
- NOCETE CALVO, F., RODRÍGUEZ BAYONA, M. e INÁCIO, N. (2010). Estudio isotópico (Pb) de las 'puntas de la Pastora' (Valencina de la Concepción, Sevilla). *Anuario Arqueológico de Andalucía* (2006): 3839-3844.
- NOCETE, F., SÁEZ, R., NAVARRO, A. D., SAN MARTIN, C., GIL-IBARGUCHI, J. I. (2018). The gold of the Carambolo Treasure: New data on its origin by elemental (LA-ICP-MS) and lead isotope (MC-ICP-MS) analysis. *Journal of Archaeological Science*, 92: 87-102.
- OREJAS SACO DEL VALLE, A., MONTERO RUIZ, I., ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, Y., LÓPEZ-GONZÁLEZ, L., LÓPEZ-MARCOS, M. A. y RODRÍGUEZ-CASANOVA, I. (2015). Roman Republic Coins in North-western Hispania. Findings from Castromaior: a contextual, numismatic and analytic approach. *Madrid Mitteilungen*, 56: 232-257.
- PERELLÓ, L. (2017). Tecnología metalúrgica del cobre y del bronce durante el período Postalayótico en Mallorca (ca. s. VI a. C. - s. I a. C.). Tesis doctoral. Universidad Illes Balears.
- PERNICKA, E. (2014). Provenance determination of archaeological metal objects. In B. W. ROBERTS y C. P. THORNTON (eds.). *Archaeometallurgy in Global Perspective: Methods and Syntheses*. Springer. New York: 239-268.
- POLLARD, M. y BRAY, P. (2015). A new method for combining lead isotope and Lead abundance data to characterize Archaeological copper alloys. *Archaeometry*, 57(6): 996-1008.
- POLLARD, M. (2016). Lead isotopes. En: A. S. GILLBERT (ed.). *Encyclopedia of Geoarchaeology*. Springer.
- POLZER, M. E. (2014). The Bajo de la Campana shipwreck and colonial trade in Phoenician Spain. En: S. B. GRAFF y Y. RAKIC (ed.). *Assyria to Iberia at the dawn of the classical Age*. The Metropolitan Museum of Art. New York: 230-242.
- RAFEL, N., MONTERO, I., CASTANYER, P. (coords.) (2008). Plata prerromana en Cataluña. Explotación y circulación del plomo y la plata en el primer milenio a.e. *Revista d'Arqueologia de Ponent*, 18: 243-328.
- RAMON, J., RAFEL, N., MONTERO, I., SANTOS, M., RENZI, M., HUNT, M. A. y ARMADA, X. L. (2011). Comercio Protohistórico: El registro del Nordeste peninsular y la circulación de mineral de plomo en Ibiza y el Bajo Priorato (Tarragona). *Saguntum*, 43: 55-81.
- REGUERA GALÁN, A. (2015). Desarrollo y aplicación de metodologías de medida de relaciones isotópicas en muestras sólidas mediante ablación láser acoplada a espectrometría de masas. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo. <<http://digibuo.uniovi.es/dspace/handle/10651/37468>>.
- RENZI, M. (2013). *La metalurgia del yacimiento fenicio de La Fonteta (Guardamar del Segura, Alicante)*. Biblioteca Praehistorica Hispana XXIX. CSIC. Madrid.
- RENZI, M., BODE, M. y MARZOLI, D. In Zusammenarbeit Mit P. AGUAYO DE HOYOS, C. LEÓN MARTÍN, F. RODRÍGUEZ VINCEIRO, G. SIERRA DE CÓZAR, J. SUÁREZ PADILLA und A. URIARTE GONZÁLEZ (2016). Ausbeutung von Bergbauressourcen im Umland von Los Castillejos de Alcorrín (Manilva, Málaga) (Ende 9. Und 8. Jh. v. Chr.). *Madrid Mitteilungen*, 57: 139-211.
- RENZI, M., MONTERO-RUIZ, I. y BODE, M. (2009). Non-ferrous metallurgy from the Phoenician site of La Fonteta (Alicante, Spain): a study of provenance. *Journal of Archaeological Science*, 36 (11): 2584-2596.
- RODRÍGUEZ VINCEIRO, F., MURILLO-BARROS, M., FERNÁNDEZ RODRÍGUEZ, L. E. y MONTERO-RUIZ, I. (2018). Metalurgia prehistórica en tierras de Antequera y su contexto andaluz. *Zephyrus*, LXXXI: 93-115.
- ROMER, R. L. y SOLER, A. (1995). U-Pb age and lead isotopic characterization of Au-bearing skarn related to the Andorra Granite (Central Pyrenees, Spain). *Mineralium Deposita*, 30: 374-383.
- ROTHENHÖFER, P., HANEL, N. y BODE, M. (2013). Auf den Spuren des Bleis der Römer: Das Forschungsprojekt Corpus der römischen Bleibarren. En: G. CREEMERS (Hrsg.). *Archaeological Contributions to Materials and Immateriality. Atuatuca*, 4: 68-74.
- ROVIRA LLORENS, S. y MONTERO-RUIZ, I. (2011). Aspectos metalúrgicos. En: G. PÉREZ JORDÁ, J. BERNABEU, Y. CARRIÓN, O. GARCÍA, Ll. MOLINA y M. GÓMEZ (eds.). *La Vital (Gandia, Valencia). Vida y muerte en la desembocadura del Serpis durante el II y el I milenio a.C.* Serie trabajos varios 113. Diputación de Valencia. Valencia: 219-227.
- ROVIRA LLORENS, S. y MONTERO RUIZ, I. (2018). Proyecto Arqueometalurgia de la Península Ibérica (1982-2017). *Trabajos de Prehistoria*, 75(2): 223-247.
- ROVIRA HORTALÀ, M. C., HUNT ORTIZ, M. A., MONTERO RUIZ, I., ROVIRA LLORENS, S. y LÓPEZ CACHERO, F. J. (2008). Caracterización elemental e isotópica de bronce de la necrópolis protohistórica Can Piteu-Can Roqueta (Sabadell, Barcelona). En: S. ROVIRA LLORENS, M. GARCÍA HERAS, M. GENER MORET e I. MONTERO RUIZ

- (eds.). *Actas del VII Congreso Ibérico de Arqueometría (Madrid, 8-10 octubre 2007)*. Madrid: 448-457.
- RUIZ DE SMEDT, M. C. (1992). *Metalurgia de época fenicia en Eivissa: el yacimiento de Sa Caleta*. Tesis de licenciatura inédita. Universidad de Barcelona.
- SANTOS, J. F., GARCÍA DE MADINABEITIA, S., CARRACEDO SÁNCHEZ, M., GIL IBARGUCHI, J. I. (2001). Análisis isotópicos de Pb mediante Espectrometría de Masas por ionización térmica (TIMS): puesta a punto, validación del método y ejemplos de aplicación. XXI Reunión de la Sociedad Española de Mineralogía, Málaga. *Boletín de la Sociedad Española de Mineralogía*, 24-A: 199-202.
- SANTOS ZALDUEGUI, J. F., GARCÍA DE MADINABEITIA, S., GIL IBARGUCHI, J. I., PALERO, F. (2004a). A lead isotope database: the Los Pedroches-Alcudia area (Spain). Implications for archaeometallurgical connections across south-western and south-eastern Iberia. *Archaeometry*, 46: 625-634.
- SANTOS ZALDUEGUI, J. F., GARCÍA DE MADINABEITIA, S., GIL IBARGUCHI, J. I., SÁEZ, R. (2004b). Los isótopos del plomo en Arqueología: metodología analítica y ejemplos de aplicación. En: *Avances en Arqueometría (2003)*. Servicio de Publicaciones. Universidad de Cádiz: 25-34.
- SANTOS ZALDUEGUI, J. F., GUINEA, A., ÁBALOS, B. y GIL IBARGUCHI, J. I. (2007). Composición isotópica del Pb en galenas de la región de la Falla de Azuaga. Aportaciones al modelo plumbotectónico de la Zona de Ossa-Morena. *Geogaceta*, 43: 7-10.
- SORIANO, I. y CHAMÓN FERNÁNDEZ, J. (2012). Estudio arqueometalúrgico del punzón de Cova de la Pesseta (Torrelles de Foix, Barcelona). Datos composicionales, metalográficos, isotópicos y funcionales. *MARQ Arqueologia y Museos*, 5: 73-89.
- 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. En: LULL, V., MICÓ, R., RIHUETE, C., RISCH, R. *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, Z. A. (2001). The impact of the natural sciences on studies of hacksilver and early silver coinage. En: M. S. BALMUTH (ed.). *Hacksilver to Coinage: New Insights into the Monetary History of the Near East and Greece*. American Numismatic Society. New York: 53-76.
- STOS-GALE, Z. A. y GALE, N. H. (2009). Metal provenancing using isotopes and the Oxford archaeological lead isotope database (OXALID). *Archaeological and Anthropological Sciences*, 1(3): 195-213.
- STOS-GALE, Z. A., GALE, N. H., HOUGHTON, J., SPEAKMAN, R. (1995). Lead Isotope data from the Isotrache Laboratory, Oxford: Archaeometry Data Base 1, Ores from the Western Mediterranean. *Archaeometry*, 37(2): 407-415.
- STOS-GALE, Z., HUNT, M., GALE, N. H. (1999). Análisis elemental y de isótopos de plomo de objetos metálicos de Gatas. En: CASTRO, P., CHAPMAN, R. W., GILI, S., LULL, V., MICÓ, R., RIHUETE, C., RISCH, R., SANAHUJA, M. E. *Proyecto Gatas 2. La dinámica arqueológica de la ocupación prehistórica*. Arqueología Monografías. Junta de Andalucía: 347-358.
- SUBÍAS, I., FANLO, I., MATEO, E., BILLSTRÖM, K., RECIO, C. (2010). Isotopic studies of Pb-Zn-(Ag) and barite Alpine vein deposits in the Iberian Range (NE Spain). *Chemie der Erde*, 70: 149-158.
- SUREDA, P. (2015). Les comunitats prehistòriques pitiüses i la seva interacció social. Aportacions des de l'arqueometal·lúrgia i els espais domèstics. Tesis doctorales. Universidad Pompeu Fabra. <<https://repositori.upf.edu/handle/10230/26221>> <<https://www.tdx.cat/handle/10803/378350>>.
- SUREDA, P. (2018). First metallurgy in the Pithyusic Islands (Balearic Archipelago, Mediterranean Sea). *Archaeological and Anthropological Sciences* <<https://doi.org/10.1007/s12520-018-0685-8>>.
- TORNOS, F. y ARIAS, D. (1993). Sulfur and lead isotope geochemistry of the Rubiales Zn-Pb ore deposit (NW Spain). *European Journal of Mineralogy*, 5: 763-773.
- TORNOS, R. y CHIARADIA, M. (2004). Plumbotectonic Evolution of the Ossa Morena Zone: Iberian Peninsula: Tracing the Influence of Mantle-Crust Interaction in Ore-Forming Processes. *Economic Geology*, 99: 965-985.
- TORNOS, F., RIBERA, F., SHEPHERD, T. J. y SPIRO, B. (1996). The geological and metallogenic setting of stratabound carbonate-hosted Zn-Pb mineralizations in the West Asturian Leonese Zone, NW Spain. *Mineralium Deposita*, 31: 27-40.
- TRINCHERINI, P. R., BARBERO, P., QUARATI, P., DOMERGUE, C. y 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.
- TRINCHERINI, P. R., DOMERGUE, C., MANTECA, I., NESTA, A. y QUARATI, P. (2009). The identification of lead ingots from the Roman mines of Cartagena (Murcia, Spain): the role of lead isotope analysis. *Journal of Roman Archaeology*, 22-1: 123-145.
- VELASCO, F., HERRERO, J. M., YUSTA, I., ALONSO, J. A., SEEBOLD, I. y LEACH, D. (2003). Geology and Geochemistry of the Reocín Zinc-Lead Deposit, Basque-Cantabrian Basin, Northern Spain. *Economic Geology*, 98 (7): 1371-1396.
- VELASCO, F., PESQUERA, A. y HERRERO, J. M. (1996). Lead isotope study of Zn-Pb ore deposits associated with the Basque-Cantabrian basin and Paleozoic basement, Northern Spain. *Mineralium Deposita*, 31: 84-92.
- VILLASECA, C., LÓPEZ GARCÍA, J. A. y BARBERO, L. (2005). Estudio de la composición isotópica (Pb-S-O) de las mineralizaciones Pb-Zn de Mazarambroz (Banda Milonítica de Toledo). *Geogaceta*, 38: 271-274.
- WOOD, J. R., MONTERO-RUIZ, I. y MARTINÓN-TORRES, M. (e. p.). From Iberia to the southern Levant: The movement of silver across the Mediterranean in the Early Iron Age. *Journal of World Prehistory*.