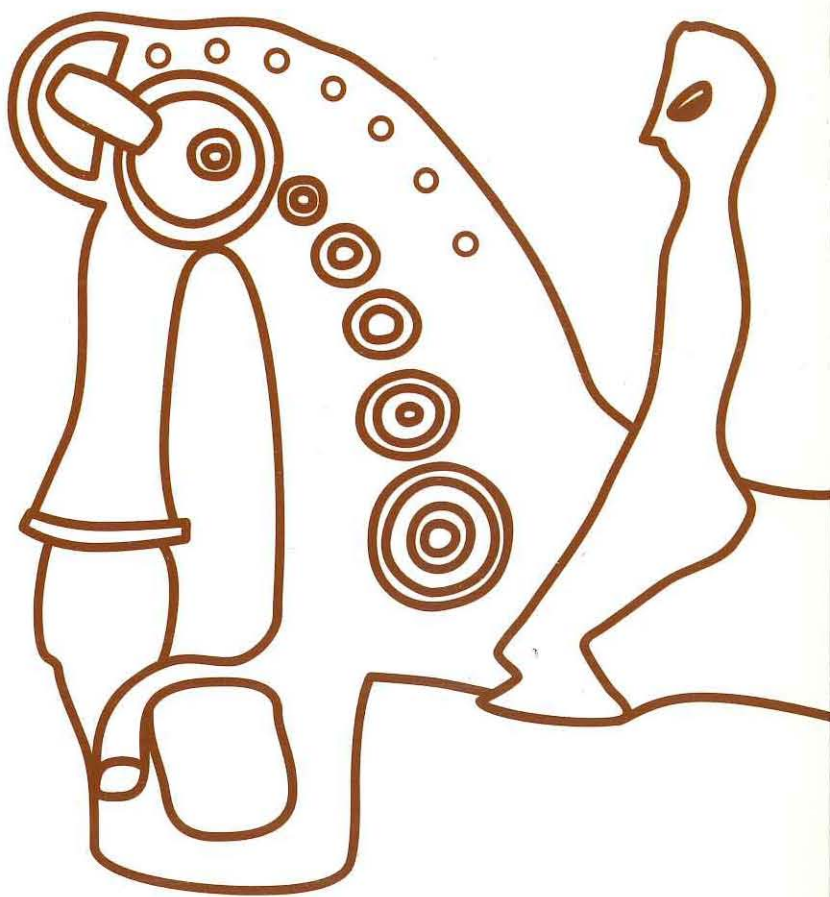


BOLLETTÍN


Asociación Española
de Amigos de la Arqueología

Homenaje a
D. Manuel Santonja Alonso



n^o **46**
2010-2011



Presidente D. Manuel Santonja Alonso (1918-2010), <i>in memoriam</i> Manuel Bendala Galán	9
MANUEL SANTONJA ALONSO (1918-2010). PINCELADAS BIOGRÁFICAS Manuel Santonja, Gonzalo Santonja y Rafael Santonja	11
YACIMIENTO ACHELENSE DE PUENTE PINO: ESTADO DE LAS INVESTIGACIONES EN 2010 Juan Rodríguez Templeque, Alfredo Pérez-González, Manuel Santonja y Blanca Ruiz	17
CERÁMICA Y SIMBOLISMO. POSIBLES INTERPRETACIONES DE ALGUNAS CERÁMICAS PENINSULARES DEL NEOLÍTICO ANTIGUO Isabel Rubio de Miguel	31
6 COMBUSTIBLE Y PRIMERA METALURGIA: UN ESTADO DE LA CUESTIÓN M ^a . I. Martínez Navarrete y Juan Manuel Vicent García	53
ENTERRAMIENTOS MÚLTIPLES EN UN YACIMIENTO CON RECINTOS DE FOSOS: UN EJEMPLO EN TERRITORIO MADRILEÑO Patricia Ríos Mendoza y Concepción Blasco Bosqued	67
LA METALURGIA COGOTAS I, ENTRE LA TRADICIÓN Y LA MODERNIDAD. APUNTES SOBRE DOS MOLDES DE FUNDICIÓN HALLADOS EN LA PROVINCIA DE VALLADOLID Germán Delibes de Castro, Julio Fernández Manzano y Jose Ignacio Herrán Martínez	85
LINGOTES PLANO-CONVEXOS DE COBRE EN LA PRIMERA MITAD DEL I MILENIO AC EN LA PENÍNSULA Ignacio Montero Ruiz, Marta Santos, M.Carme Rovira Hortalá, Martina Renzi, Mercedes Murullo-Barroso Mark Hunt, Marc Gener y Pere Castanyer	99
FUNCIONALIDAD Y SISTEMAS DE SUJECIÓN DE LAS HERRAMIENTAS FÉRREAS DEL CASTRO DE LAS COGOTAS (CARDEÑOSA, ÁVILA) Magdalena Barril Vicente	121
NUEVA ESCULTURA DE VERRACO VETTÓN EN EL ÁREA GEOGRÁFICA DE LA CUENCA DEL TAJO Gregorio Ramón Manglano Valcárcel	139

LA FUNCIONALIDAD DE LA VAJILLA CERÁMICA. PROPUESTA METODOLÓGICA PARA SU ANÁLISIS ARQUEOLÓGICO Gadea C. Cabanillas de la Torre	141
INFLUENCIA DE LA ICONOGRAFÍA MEDITERRÁNEA EN LA PLÁSTICA CELTA DE LA TÉNE Alberto Pérez Rubio	153
RUTAS COMERCIALES DEL VINO EN LA PROTOHISTORIA PENINSULAR: CENTROS VITINICULTORES Y REDISTRIBUIDORES Irene Minerva Muñoz Fernández	179
<i>IUPPITER GALLICUS</i> . UNA FIGURA DE BRONCE DE LA COLECCIÓN FREDERIC MARÉS EN BARCELONA Michael Blech	191
UNA APROXIMACIÓN INTERDISCIPLINAR A LAS ACTIVIDADES AGROPECUARIAS Y CINEGÉTICAS DE UN ASENTAMIENTO RURAL LUSITANO: EL SAUCEDO (TALAVERA LA NUEVA, TOLEDO) Raquel Castelo Ruano, José Antonio López Sáez; Ana M ^a López Pérez, Leonor Peña Chocarro, Corina Liesau, Mónica Ruiz Alonso, Lourdes López Merino, Sebastián Pérez Díaz, Rosario García Giménez, Jose Luis Gómez y Gregorio Manglano	205
HUGO OBERMAIER, EL DURO CAMINO HACIA LA CÁTEDRA DE HISTORIA PRIMITIVA DEL HOMBRE (1877-1922) Alfredo Mederos Martín	235
NUMANCIA DE NUEVO AMENAZADA M ^a Eugenia R. Tajuelo Amenedo	261
LA ARQUEOMETALURGIA Y SUS PROBLEMAS: ALGUNAS REFLEXIONES PERSONALES Salvador Rovira Llorens	273

Edita: ASOCIACIÓN ESPAÑOLA DE AMIGOS DE LA ARQUEOLOGÍA.
Correspondencia: Apartado de Correos 14.880, 28080 Madrid.
Diseño: Silvia Valdés Alcocer
Maquetación: Antonio Torrano y Jerónimo Mellado
Imprime: STOCKCERO, S.A.
Depósito legal: M-49187-2001
ISSN: 0210 - 4741



Combustible y primera metalurgia: Un estado de la cuestión.

M^aIsabel Martínez Navarrete
Juan Manuel Vicent García.

Grupo de investigación Prehistoria social y económica, Instituto de Historia,
Centro de Ciencias Humanas y Sociales, CSIC

Se revisan las líneas principales del tratamiento del combustible en los estudios arqueometalúrgicos de base cobre en el contexto de las interpretaciones sobre la metalurgia prehistórica (desde el siglo XIX al presente). El debate acerca de su impacto ambiental se relaciona con la asunción o rechazo del modelo de Childe que interpreta la metalurgia en el Viejo Mundo como una producción mercantil. Se propone la investigación del registro local desde una perspectiva global (social, económica, política y ambiental) para evaluar ese modelo por sus propios méritos. En ese contexto se destaca el papel que juega el combustible empleado en la producción metalúrgica.

THE MAIN APPROACHES DEALING WITH FUEL IN ARCHAOMETALLURGICAL STUDIES ARE REVIEWED IN THE CONTEXT OF THE INTERPRETATIONS ON PREHISTORIC METALLURGY (SINCE 19TH CENTURY TO THE PRESENT). THE DEBATE ABOUT ITS ENVIRONMENTAL IMPACT DURING THE BRONZE AGE IS RELATED TO THE ACCEPTANCE OR REJECTION OF CHILDE'S THESIS THAT LINK THE METALLURGY IN THE OLD WORLD TO MARKET PRODUCTION, DISTRIBUTION, AND ACCUMULATION. A GLOBAL (SOCIAL, ECONOMICAL, POLITICAL, AND ENVIRONMENTAL) APPROACH TO INVESTIGATING THE LOCAL RECORD IS PROPOSED AS A MEAN TO EVALUATE THAT MODEL ON ITS OWN MERITS. IN THIS CONTEXT THE INTEREST IN EVALUATING THE FUEL FOR METALLURGICAL PRODUCTION IS EMPHASIZED.

INTRODUCCIÓN

Esta contribución arranca de la participación, junto con Salvador Rovira, en uno de los proyectos de carácter internacional relacionados con su investigación arqueometalúrgica: el emprendido en Kargaly (sur de los Urales, Rusia). Se trata del coto minero de cobre más importante en las estepas euroasiáticas. Su explotación se inicia en la Edad del Bronce, interrumpiéndose bruscamente hasta el periodo ruso a fines del siglo XVIII (Rovira y Martínez Navarrete, 2005).

La hipótesis inicial del director del proyecto, E.N. Chernyj, fue vincular la interrupción de la actividad tras la fase prehistórica con el fuerte impacto del minado y la metalurgia sobre el medio estepario (Chernykh, 1994). La participación de los investigadores españoles en el proyecto iba destinada a evaluar ese impacto mediante diversas estrategias interconectadas¹. Rovira (1999) definió

el carácter primitivo de la metalurgia prehistórica mediante un amplio programa analítico y experimental. Estableció variables económicas como el rendimiento en cobre de las fundiciones y el consumo de combustible. A partir de ellas se elaboraron modelos teóricos estimativos de la producción metalúrgica y de su impacto en el medio ambiente que se calibraron mediante datos arqueobotánicos y de teledetección espacial (Vicent *et al.*, 2000; Díaz-del-Río *et al.*, 2006; Vicent *et al.* 2010).

La revisión del tratamiento que se daba al combustible en los estudios de metalurgia prehistórica mostraba una situación paradójica. Las propuestas más actuales reconocían la necesidad de movilizar conocimientos botánicos y medioambientales generales, actuales e históricos, además de otros relativos al minado y fundición del mineral y a la elaboración de

las piezas metálicas. Tales conocimientos debían confrontarse con el contexto histórico específico de la organización del trabajo en las sociedades implicadas. En consecuencia, el combustible resultaba un factor de gran potencial en el enfoque holístico que se estaba reclamando para la renovación de los estudios arqueometalúrgicos y paleoambientales. Sin embargo, y simultáneamente, las dificultades que entrañaba tal enfoque justificaban la marginación del combustible como tema específico de análisis.

No pretendemos ser exhaustivos ni en la discusión de las líneas principales de esta problemática, ni en su aplicación que restringiremos a la arqueometalurgia de base cobre. Sí nos proponemos apuntar algunos de los factores que, a nuestro juicio, demuestran por qué el examen del combustible es fundamental para una interpretación global de la metalurgia prehistórica, así como algunas estrategias para su tratamiento.

PIROTECNOLOGÍA Y METALURGIA: GENERALIDADES

La pirotecnología o uso del calor para alterar las propiedades de los materiales se considera una medida del nivel o calidad de la civilización (Rehder, 1999, 305). El fuego se conceptualiza como símbolo de la evolución psíquica y técnica de la humanidad y elemento fundamental en el conocimiento de sus primeras sociedades. Reducido en ese contexto a la preparación de alimentos y producción de calor, después se aplicará también a la alteración de materiales refractarios como piedras y minerales.

Durante gran parte de la Prehistoria, las temperaturas elevadas se controlaron mediante los combustibles orgánicos: madera, turba, hueso, estiércol, semillas y variados subproductos agrícolas (Ottoway, 2001, 101). En el caso de los primeros metalúrgicos, la cantidad y, sobre todo, la calidad del combustible accesible determinó en gran medida la temperatura alcanzada en el horno. Esta, a su vez, condicionó en parte la

posibilidad de trabajar ciertos minerales y de usar algunos procesos tecnológicos (Healy, 1978, 148-150).

Las ventajas tecnológicas de la leña en la combustión aumentan con la carbonización: el carbón permite alcanzar mayores temperaturas y, debido a su elevado contenido en carbono, crea una atmósfera reductora que retira el oxígeno contenido en los compuestos de cobre. El carbón dobla aproximadamente la intensidad del calor de su peso equivalente en leña. Su mayor valor calorífico le hace más compacto y fácil de almacenar y transportar que esta (Horne, 1982b, 212). A cambio su producción añade tiempo y trabajo a los costes de la actividad metalúrgica (Horne, 1982a, 7 y 9) y, debido a la escasa eficiencia de los métodos primitivos de carbonización, por caloría es, al menos, dos veces más destructivo para el medio ambiente que la tala (Horne, 1982b, 212).

Los primeros datos respecto a la carbonización son pocos e incompletos. Proceden de textos sumerios y acadios que indican las ventajas de las diferentes especies de arbustos y árboles y de la madera seca sobre la fresca en relación con las propiedades del carbón resultante (Horne, 1982a, 9). Más tarde hay testimonios escultóricos en el Egipto helenístico y textuales en la Grecia del siglo V a.C. Un siglo después Teofrasto mencionará por primera vez el uso de productos minerales como combustibles (Healy, 1978, 149-150).

Desde el siglo XIX, con el desarrollo de la Prehistoria, los objetos metálicos serán un elemento fundamental en el establecimiento de cronologías y relaciones entre culturas arqueológicas. Generalmente se atiende más a los rasgos morfológicos que a su tecnología, composición, procesos de minado, reducción del mineral y fundición. Ello, consiguientemente, afecta al conocimiento del combustible empleado.

A partir de los años 1970 los cambios conceptuales vinculados con la "Nueva Arqueología" confluyen con nuevas técnicas

de análisis físico-químicos aplicadas a la composición y datación de materiales y con el incremento de laboratorios especializados en arqueología, liberando las piezas metálicas de sus compromisos histórico-culturales y ampliando los estudios multidisciplinarios (Montero *et al.*, 2007, 26-27). En general, entre los objetivos prioritarios de estos últimos no estaban la minería, ni las operaciones de producción y trabajo del metal que requerían combustible (Costa Caramé, 2008, 402-403).

Interactuaban en ese estado de la cuestión factores empíricos y teóricos de muy diverso alcance cuya importancia relativa, además, se ha ido modificando hasta la actualidad. Las minas son yacimientos arqueológicos comparativamente raros cuya excavación requiere procedimientos específicos, generalmente complejos y costosos. El minado puede no asociarse a la metalurgia extractiva (Blas Cortina, 2007, 749), a la vez que los talleres situados en los poblados suelen producir las piezas a partir del metal. Alternativamente, los contextos con testimonios arqueológicos de todas las fases del proceso favorecen el tratamiento de la metalurgia desde enfoques globales e integradores. Uno de los proyectos pioneros en esa línea se emprende, precisamente, en España con un fuerte compromiso por parte de Salvador Rovira (Delibes *et al.*, 1989; Rovira *et al.*, 1997).

Como registros arqueológicos tan completos son excepcionales, los especialistas en arqueometalurgia contados y las tradiciones de investigación arraigadas, los estudios holísticos avanzan a distintas velocidades y con diferentes énfasis en unas y otras comunidades académicas. La dificultad para la contextualización social, económica y cultural de la metalurgia se debería a la formación tecnológica como metalúrgicos de los primeros investigadores (ingenieros de minas, físicos, químicos) y a la focalización inicial en los aspectos tecnológicos y empíricos (Ottoway, 2001, 87-88). El desinterés por los aspectos botánicos y espaciales que la actividad también lleva consigo sería otra manifestación del habitual tratamiento independiente de la metalurgia.

La evaluación del combustible se ha buscado, en su caso, en fuentes etnográficas, históricas (medievales y modernas), así como en datos generales pirotecnológicos (Lull, 1983, 459-460, n. 9), combinados con otros forestales y arqueometalúrgicos (Montero, 1994, 303-304). Los enfoques más experimentales se han generalizado en la última década cuando se defiende la producción de combustible como un aspecto vital en la elaboración del metal, reconociéndose la falta de estudios de conjunto sobre el tema (Ottoway, 2001, 90).

Comentaremos a continuación, las líneas de investigación que, enfatizando los aspectos empírico-reconstructivos o la modelización teórica, van sentando las bases para esa síntesis sobre el combustible prehistórico.

LAS BASES ENERGÉTICAS DE LA PRODUCCIÓN METALÚRGICA

El interés histórico-filosófico por la pirotecnología se combina a mediados de los 1980 con un enfoque biológico-antracológico, en el que los carbones procedentes de los hogares arqueológicos se evalúan en función de su representatividad paleoecológica. Gradualmente se adopta una óptica arqueobotánica y etnobotánica en la que el combustible leñoso forma parte de una práctica social, conectada con un sistema cultural y económico, en un espacio dado (Henry *et al.*, 2009, 17-18).

Las formas de explotación del combustible leñoso despiertan un interés secundario dentro de la paleoeconomía respecto a los recursos relacionados con la alimentación y la tecnología (Allue y García-Antón, 2006, 19-21 y 25). Ello se debe a factores intrínsecos a este combustible y a otros conectados con la propia investigación antracológica.

La leña en sí misma no implica un avance tecnológico como sucede, por ejemplo, cuando se incorpora al laboreo minero como en el sistema de caldas (Weisgerber y Willies, 2001; Blas Cortina,

2007, 732). Por ello, un análisis de las formas de explotación de la leña es menos factible que el de otras materias primas de mayor duración, susceptibles de reciclaje. Existen además dificultades para la identificación arqueológica de las carboneras. Según la información etnográfica, son poco visibles bien por carecer de rasgos particulares, bien por localizarse fuera de los poblados, junto a las arboledas y matorrales que proveen la leña (Horne 1982a, 10; 1982b, 211). Tampoco ayuda al tratamiento de la leña como recurso energético que los antracólogos se interesen, sobre todo, por cazadores-recolectores y/o agricultores con economías con un alto grado de movilidad y que ocupan medios donde el combustible leñoso supera la demanda potencial.

Desde presupuestos antitéticos los estudios de contextos clásicos de la metalurgia prehistórica tienen efectos parecidos en la evaluación del combustible. Por ejemplo, según Marshall *et al.* (1999, 255), las estimaciones de Childe y Pittioni, publicadas ya en 1951, sobre la cantidad de madera requerida para la minería de Mitterberg, se basan, mas que en un análisis del combustible, en las asunciones del modelo industrial y especializado de la producción metalúrgica de la Edad del Bronce, consagrado por Childe (Budd y Taylor, 1995). Otro tanto cabe decir de los estudios sobre la metalurgia argárica (Lull, 1983, 46-48, 457 y 459-460, n. 9). Se asume que la minería y el trabajo del metal modificaron la composición forestal, favorecieron la aluviación y sedimentación de los valles y, quizá, contaminaron a escala local. Sin embargo hasta fines de los 1980 no se aborda el impacto de estas actividades prehistóricas sobre bases paleoambientales (Mighall y Chambers, 1993, 71).

Todos esos condicionantes, unidos al número comparativamente reducido de antracólogos y, en general, de analistas de biomateriales respecto a los especialistas en materiales inorgánicos (Montero *et al.*, 2007, 24-25), dotan de especial trascendencia a los estudios pioneros del combustible en la metalurgia. Destacamos dos tipos de proyectos. Unos se interesan por

el impacto de esta actividad sobre paisajes con limitados recursos forestales. Otros abordan el conjunto de operaciones vinculadas con la metalurgia y el trabajo del metal desde una perspectiva experimental y analítica.

El artículo de L. Horne (1982a) se enmarca en el primer tipo. Es de referencia en el tema (Ottaway, 2001) y ha servido de base en investigaciones con preocupaciones ecológicas (Montero Ruíz, 1994, 303; Rovira, 1999; Díaz-del-Río *et al.*, 2006). Según Horne (1982a, 12 y 7-8), la leña puede bastar para la fundición de óxidos de cobre, pero la mayoría de la evidencia muestra que el carbón vegetal fue la primera opción: *there was no real option for early metallurgy... Copper smelting was the first pyrotechnological industry to require charcoal*. La autora combina información histórica europea y de carácter experimental (Tylecotte y Boydell, 1978) con los datos, textuales y etnográficos de su trabajo en la meseta iraní (Horne, 1982b) para cuantificar, por primera vez, los requerimientos de carbón para la producción de cobre: *a five kg. smelt ... would use 100 kg. of charcoal (to be conservative)*(Horne, 1982a, 12).

Otra iniciativa excepcional es la investigación botánica pionera de T. Engel y W. Frey (1999), en el proyecto *Archaeometallurgical investigations on the origins and development of copper metallurgy in Feinan*. Incrementa su relevancia intrínseca que se refiera al paisaje minero antiguo mejor conocido, principalmente, desde una perspectiva tecnológica y productiva (Stollner, 2003, 417-419). La amplitud del muestreo, botánico y antracológico en escoriales, y su metodología modélica facilitaron datos cuantitativos preliminares para un enfoque interdisciplinar que relacionaba el impacto humano con la degradación de los bosques a largo plazo. Los carbonos estudiados por Engel y Frey (1999, 30, fig. 1) oscilaron entre los 64 fechados en el periodo persa y los 5403 de la Edad del Hierro. Las 5 escorias de la Edad del Bronce Antiguo contenían 2831 carbonos.

Teniendo en cuenta que, en Feinan, ya hay un paisaje minero en la Edad del Bronce, es muy

significativo el contraste que se advierte en la reducción de la especie arbórea dominante en las escorias de los sucesivos periodos. La disminución se atribuye a una crisis climática durante la Edad del Bronce y a su sobreexplotación como combustible en los posteriores (Engel y Frey, 1999, 29). Esa dicotomía ayuda a dimensionar la escala de la producción metalúrgica prehistórica.

En el propio proyecto Kargaly, P. Uzquiano (2002) carbonizó *in situ* diversas maderas que servirían como material comparativo en la identificación de los carbones arqueológicos. Son un total de 523, procedentes de las viviendas del poblado Gorny de la Edad del Bronce Final, de las que 91 se asocian con escorias y hornos metalúrgicos.

Los restos antracológicos recuperados en contextos metalúrgicos facilitan un conocimiento directo de la leña empleada como combustible en los hornos prehistóricos. Según Engel y Frey (1999, 38), los criterios de selección de la especie dependen de sus propiedades físico-químicas, de la cantidad de madera por individuo y de la capacidad de regeneración de las unidades de vegetación. La preocupación por un uso sostenible de los recursos forestales queda documentada por el constante rebrote de los troncos tras la tala y por el uso de ramas delgadas y ramitas. Pero su virtualidad y, por tanto, el impacto ambiental de la metalurgia prehistórica dependerá de parámetros como la cobertura arbórea, la densidad de la madera y, sobre todo, el volumen de combustible requerido.

En definitiva, la evaluación del impacto de la metalurgia sobre los recursos forestales requiere un tratamiento conjunto de los factores medioambientales y económico-sociales que intervienen en la selección del combustible.

Caracterizamos el segundo tipo de proyectos que se ocupan del combustible a partir de los que se emprenden en Rusia en la década de los 1980, interesantes y muy poco conocidos. Su objetivo es la investigación de la metalurgia y el

trabajo del metal en la Edad del Bronce desde un enfoque totalizador que combina análisis espectrales y metalográficos en piezas metálicas, otros traceológicos en instrumentos líticos y óseos, así como experimentación, informada arqueológicamente. Esta incluye la reproducción y uso de ese utillaje, la elaboración y cocción de las vasijas de reducción destinadas a la segunda fusión del metal ya decantado, el trabajo del metal y la réplica de estas últimas operaciones (Priajin, 2008, 199-202). Todos asumen el empleo de carbón en la metalurgia.

Consideramos seis experimentos de carbonización en fosa de madera de abedul a cargo de dos equipos de especialistas en las culturas del final del periodo. Asumido su reducido número y el fracaso de algunas de las experiencias (Agapov *et al.*, 1989, 103), destacamos ciertas conclusiones. Las operaciones preparatorias a la fusión emergían como las más difíciles y prolongadas de todo el ciclo de trabajo del metal (Savrasov, 1996, 136 - 138). Según Agapov *et al.* (1989, 108), la carbonización estaba entre las que requerían una auténtica especialización. Su éxito dependía más de la pericia del carbonero (construcción de la fosa, aireación, disposición de la leña...) que de las características de la materia prima (grado de sequedad, tamaño y otros).

Estas experiencias rusas, tan informativas en muchos aspectos, no aportan datos sobre los requerimientos de carbón para la producción de cobre, lo que limita su alcance en una investigación sobre el impacto ambiental de la metalurgia.

La información antracológica, aun siendo más ilustrativa a ese respecto, es insuficiente. Los propios especialistas definen el depósito antracológico como el último testimonio de una cadena operativa compleja, donde la recogida de datos etno-antracológicos es la primera, y lógica, necesidad metodológica (Henry *et al.*, 2009, 18).

Los resultados de los estudios etnobotánicos refuerzan los antracológicos, analíticos y experimentales. El conocimiento preciso que

58

tienen los grupos de cazadores-recolectores y/o agricultores móviles de las propiedades físico-químicas de cada especie no determina su selección como combustible (Allué Martí y García-Antón, 2006, 22 y 24). Lo indispensable es que la leña sea accesible porque "la mayor parte de las maderas son resolutivas y funcionales" (Allué Martí y García-Antón, 2006, 25). Entre los condicionantes paleoecológicos, paleoeconómicos y culturales están la disponibilidad y abundancia relativa de cada especie en el entorno; el uso primario de la leña como combustible para la producción alfarera o metalúrgica, para la calefacción, la preparación de alimentos y el cocinado o también para la realización de viviendas y utensilios y para alimentar al ganado (Rasmussen, 1993); la funcionalidad y duración de la ocupación y, en relación con ello, el almacenamiento o no de la leña, la tala de árboles secos o la recogida de troncos caídos y ramas del suelo (Henry *et al.*, 2009, 20, 25-26), el balance entre la inversión en el aprovisionamiento de leña respecto a la energía que produce y la demografía (Horne, 1982b, 202 y 206). Otras variables son el aprovisionamiento en árboles o arbustos de leña verde o seca, la tala manual o con hacha (Allué Martí y García-Antón, 2006, 25) y el sistema de transporte.

Según A.B. Knapp (1998, 8-9), la principal dificultad para estudiar esa cadena operativa en las sociedades metalúrgicas es la disociación entre el enfoque tecnológico de arqueólogos y expertos en ciencias de materiales y el énfasis de los antropólogos en las dimensiones sociales, ideológicas, político-económicas y espaciales. A ello hay que añadir que estos últimos se han centrado en la metalurgia del hierro, en sociedades africanas precoloniales (Cline, 1937; Childs y Killick, 1993; Schmidt, 1997). Su tecnología se ha equiparado a la de la Edad del Hierro y el periodo romano en Europa septentrional y occidental (Coles, 1973, 142), análogos inadecuados para la metalurgia prehistórica de base cobre.

En cambio, sí encontramos pertinentes los estudios sobre los ganaderos de reno contemporáneos que tienen metal. La ausencia de actividades metalúrgicas locales se compensa con una detallada información sobre la compleja

gestión de la madera emprendida por estos grupos móviles (Henry *et al.*, 2009). Su área de distribución y su dedicación económica ofrecen numerosas analogías funcionales, por ejemplo, con las culturas arqueológicas de la Edad del Bronce en Eurasia.

EL IMPACTO DE LA MINERÍA Y LA METALURGIA SOBRE EL MEDIO AMBIENTE

El estado de opinión favorable a considerar en conjunto las dimensiones socio-culturales, tecno-económicas y espaciales de la metalurgia ha incidido sobre la tercera de ellas de modo muy desigual. En el curso de los últimos 20 años los estudios de procedencia y distribución de materias primas y productos metálicos han tenido un desarrollo muy superior a los de arqueología del paisaje, especialmente en su vertiente más ecológica. Ello no es de extrañar dada la tendencia tradicional a definir los contactos entre grupos humanos sobre bases culturales, ideológicas y políticas más que sociales, económicas y territoriales.

El cambio esencial en la conceptualización de la dimensión espacial se produjo con la introducción de "la lectura continua del paisaje como registro" arqueológico (Orejas, 2006, 10). Este cambio arrancó en los 1970, con un interés por la conexión entre el medio y los asentamientos y por las relaciones funcionales entre ellos (Martínez Navarrete, 1989, 76-78). De la preocupación por la tipología de los asentamientos, se ha pasado en la actualidad a leer globalmente la malla del poblamiento sobre el paisaje (Orejas, 2006, 9). En la investigación de esos paisajes productivos rurales, de nuevo, las actividades mineras, metalúrgicas y forestales tienen menor protagonismo que las agropecuarias. Esta situación se repite, lógicamente, en la atención prestada a las consecuencias ecológicas de la agricultura y la ganadería respecto a las de la extracción y procesado del mineral.

Sea cual fuere la actividad en estudio se adoptan enfoques multidisciplinares (sedimentología, arqueobotánica) y se combinan diversos registros paleoambientales fechados por carbono 14 con

otros históricos y arqueológicos para intentar discernir si los sucesos identificados son resultado de procesos naturales o antropogénicos. En el caso de la metalurgia extractiva, los análisis sedimentarios incluyen las pérdidas por ignición, la susceptibilidad magnética (c) y las concentraciones de Zn, Cu y Pb, así como otros paleobotánicos (palinología y cuantificación del carbón microscópico) (Marshall *et al.*, 1999, 257 y 262, n. 3; Jouffroy-Bapicot *et al.*, 2007; Grattan *et al.*, 2007).

LA PALINOLOGÍA REEMPLAZA A LA ANTRACOLOGÍA COMO ANALÍTICA PREDOMINANTE.

La sustitución de un registro de macrorrestos vegetales por otro de pólenes, esporas y palinomorfos no polínicos supone cambios sustanciales en el agente, radio de dispersión de las especies y composición florística con importantes implicaciones en la evaluación de la antropización del medio. Según Nelle *et al.* (2010) el análisis polínico permite una resolución taxonómica mayor y mas amplia (árboles, herbáceas, plantas superiores, criptógamas..) que el antracológico y, dependiendo de la calidad del registro, una reconstrucción diacrónica local y/o regional de la vegetación. Pero se debate todavía el número de granos de polen de ciertas especies requerido para considerar que su presencia es local o extralocal.

Los combustibles no plantean dudas al respecto: proceden de recursos vegetales seleccionados en el entorno de los asentamientos (Allué Martí y García-Antón, 2006, 24). Valgan como ejemplo, los ganaderos de reno citados. Se abastecen de madera en un radio siempre inferior al recorrido para otras actividades efectuadas desde el campamento: si está muerta hasta 800 m –más de 500 m es ya a una distancia considerable– y hasta 50 m si es leña fresca (Henry *et al.*, 2009, 26-27).

La vinculación de esos restos antracológicos a asentamientos discontinuos y su origen local y antrópico explican que los espectros específicos resulten problemáticos para estudiar fenómenos

ecológicos. Al depender estos últimos de la escala espacial, resulta claro por qué el registro polínico se prefiere para evaluar el impacto ambiental de las prácticas metalúrgicas.

Mighall y Chambers (1993) sitúan el inicio de las investigaciones del impacto ambiental a partir de la palinología a fines de los 1980. Generalmente se centraron en turberas adyacentes a minas de cobre de la Edad del Bronce y, sobre todo, a minas y talleres de la Edad del Hierro. Según los datos de los 3 sitios de las Islas Británicas considerados, los cambios advertidos en la cubierta forestal durante el funcionamiento de las minas y el trabajo del metal no impidieron la recuperación de un bosque ya empobrecido de partida. A su juicio, la amplia demanda de madera que se viene conectando con estas actividades resulta invisible en el registro botánico por la gestión de los bosques, la selección y/o disponibilidad de combustible leñoso adecuado, la duración del minado y de las actividades metalúrgicas y el uso de fuentes de combustible no leñosas.

Estos análisis palinológicos se combinan cada vez más con otros sedimentarios. Son ilustrativos los emprendidos por Marshall *et al.* (1999, 258) en una turbera formada durante los últimos 2000 años y situada en una zona dedicada tradicionalmente a la minería y la metalurgia. Sus resultados multidisciplinarios, coincidentes entre si y con los obtenidos en las Islas Británicas y otras partes de Europa, demuestran que nuestras ideas sobre el impacto ambiental de esas actividades en el pasado son algo exageradas. Los efectos del empleo de grandes cantidades de madera no fueron necesariamente catastróficos.

Ello no excluye, naturalmente que, bajo determinadas condiciones ambientales y productivas, haya episodios locales de severa alteración del medio pero previene contra una determinación irreflexiva de su origen y alcance. En cuanto al origen, las actividades agrícolas y ganaderas, así como de extracción y transformación comparten los indicadores de deforestación entre si y con los procesos naturales. Por ello, y de forma complementaria, la minería extractiva se está intentando evaluar

definiendo el alcance (local, regional, planetario) que tuvo su impacto. Se adoptan enfoques que, como gráficamente indican Grattan *et al.* (2007, 83), investigan localmente, pensando globalmente. El suyo, un estudio sedimentario en los wadis del distrito minero paradigmático de Feinan, muestra como la esperada contaminación por metales pesados en la Edad del Bronce Antiguo ocurre a escala local (Grattan *et al.*, 2007, 106). El aislamiento de los afloramientos y el hecho de que las economías que usaban el metal carecieran de la escala o integración suficiente para generar una actividad económica masiva impidieron que su cuota de polución alterara la química de la atmósfera del hemisferio norte. La metalurgia de la Edad del Bronce no pudo servir de base a un 'sistema mundial'. La primera signatura atmosférica global significativa tiene ~3-4000 años (Grattan *et al.*, 2007, 107).

Cerramos esta última sección con un enfoque de la palinología arqueológica que tiende a una investigación global en tema y planteamientos. Se denomina *Best Modern Analogue (BMA)* y utiliza la distribución efectiva de la vegetación actual y su representación palinológica como base para comprender mejor las dinámicas de la vegetación en el pasado (Overpeck *et al.*, 1985; Guiot, 1990). El supuesto metodológico es que la proporción de polen de un taxón determinado en una muestra de lluvia polínica es una función de la superficie efectiva ocupada por dicho taxón en un radio en torno al punto de muestreo que viene dado, entre otros factores, por la movilidad del polen y la productividad polínica del taxón. Esta estrategia, por la amplitud del territorio estudiado y el elevado número de variables consideradas, exige modelos estadísticos de regresión lineal y cartografías radiométricas de las masas forestales, así como equipos multidisciplinares cada vez más internacionales (Tarasov *et al.*, 2007). Es todo un reto para la práctica convencional en palinología cuantitativa.

El proyecto Kargaly, hasta lo que sabemos, es el único que ha aplicado la estrategia del 'Análogo Óptimo Actual' a una escala media y para la determinación del impacto de la metalurgia extractiva, recurriendo a técnicas de teledetección

espacial. Los resultados obtenidos hasta el momento son significativos (Vicent *et al.*, 2006; Vicent *et al.*, 2010) por lo que están en marcha otros en la misma línea.

RECAPITULACIÓN Y REIVINDICACIÓN: EL COMBUSTIBLE COMO CUESTIÓN SOCIAL

En una primera impresión, el estudio del combustible destinado a la metalurgia y el trabajo del metal parece abordable desde un enfoque empírico y reconstructivo. Bastaría reconocer en los yacimientos los espacios productivos correspondientes e identificar las especies vegetales carbonizadas. Esto mismo requiere solventar ya ciertas ambigüedades de partida. Unas se relacionan con el desarrollo generalizado de la producción en estructuras de pirotecnología análogas a las domésticas. Otras residen en la imposible discriminación directa entre la carbonización de la leña durante la combustión y el proceso tecnológico encaminado a la fabricación de combustible. Estas segundas incertidumbres, menos valoradas, son sin embargo relevantes a la hora de determinar el grado de especialización e impacto ecológico de las actividades metalúrgicas y, por tanto, la escala de las mismas.

En realidad, como sucede con tantas otras analíticas de materiales arqueológicos, los datos obtenidos, incluso concluyentes, pueden dar pie a interpretaciones muy variadas que el investigador selecciona según su perspectiva teórica general. Por ello las estrategias de investigación adoptadas para estudiar el combustible destinado a la metalurgia y el trabajo del metal son buenos indicadores de los cambios metodológicos generales experimentados por la arqueología europea. El peso de la tecnología en la estructuración de la periodización en Prehistoria, unida en este caso al protagonismo de los científicos de materiales en la caracterización de dichas actividades, favoreció unas interpretaciones indiferentes a sesgos de contexto y escala. Más adelante la interdisciplinariedad se refuerza con los análisis paleobotánicos y la experimentación, para evaluar el impacto de la minería extractiva y el trabajo del metal sobre bases paleoambientales. Entonces se

reconoce que, sin disponer de alguna estimación sobre la escala de la producción metalúrgica, faltan criterios de decisión entre explicaciones alternativas de los datos. Ello convierte una cuestión social y política, como es la integración de las economías de las sociedades con metal, en la clave para evaluar la escala de la producción metalúrgica y su impacto medioambiental.

El debate de fondo sobre el combustible y la

metalurgia se articula, expresa o implícitamente, en torno a la asunción o no del modelo industrial y especializado de la producción metalúrgica de la Edad del Bronce, consagrado por Childe. Esta contribución ha querido mostrar cómo la mejor alternativa para evaluar ese modelo por sus propios méritos es abordar el registro local desde una perspectiva global y definir ese registro en función del modo como cada sociedad concreta gestiona los recursos.

NOTAS:

1. *La participación española ha sido financiada por los proyectos PS95-0031 (1996-1999). PB98-0653 (1999-2002) y BHA2003-08575 (2003-2006) dirigidos por M^l. Martínez Navarrete y por las becas de estancias breves del convenio bilateral CSIC- Academia Rusa de Ciencias.*

AGRADECIMIENTOS:

A las editoras por su invitación a participar en este volumen.

A Salvador Rovira Llorens (Museo Arqueológico Nacional), nuestro introductor y guía en la investigación arqueometalúrgica, a José Antonio López Sáez, Mónica Ruiz Alonso (Grupo de Investigación Arqueobiología) e Ignacio Montero Ruíz (Grupo de Investigación Historia de la tecnología. Arqueometalurgia) del Instituto de Historia, CCHS-CSIC, Madrid; a Lydia Zapata (Universidad del País Vasco, Vitoria) y a Itxaso Euba Rementeria (Geolab UMR 6042 CNRS, Limoges).

BIBLIOGRAFÍA:

62

- AGAPOV, S.A.; KUZMINYJ, S.V. Y TEREJIN, S.A. (1989): "Modelirovanie protsessov drevnei plavki medi". En E.N. Chernyj (Otvetsvennyi redaktor). *Estestvennonauchnye metody Arjeologii. Sbornik nauchnyx trudov.* Ademiia Nauk SSR, Institut arjeologii, Nauka. Moskva, 100-108.
- ALLUE MARTÍ, E. Y GARCÍA-ANTÓN TRASSIERRA, M.^ªD. (2006): "La transformación de un recurso biótico en abiótico: aspectos teóricos sobre la explotación del combustible leñoso en la Prehistoria". En G. Martínez Fernández, A. Morgado Rodríguez y J.A. Afonso Marrero (coords.). *Sociedades prehistóricas, recursos abióticos y territorio. Actas de la III Reunión de trabajo sobre aprovisionamiento de recursos abióticos en la Prehistoria* (Loja 2004). Fundación Ibn Al-Jatib de Estudios de Cooperación Cultural. Granada, 19-31.
- BLAS CORTINA, M.A. de (2007): "Minería prehistórica del cobre en el reborde septentrional de los Picos de Europa: las olvidadas labores de 'El Milagro' (Onís, Asturias)", *Veleia*, 24-25, 723-753.
- CLINE, W. (1937): *Mining and Metallurgy in Negro Africa*. George Banta. Menasha Wisc.
- COLES, J. (1973): *Archaeology by experiment*. Hutchinson University Library. London
- COSTA CARAMÉ, M.E. (2008): "Estado actual de la investigación arqueometalúrgica en España: una aproximación bibliométrica". En S. Rovira Llorens, M. García-Heras, M. Gener Moret e I. Montero Ruiz (eds.). *Actas VII Congreso Ibérico de Arqueometría* (Madrid 2007). Edición electrónica Quadro. Madrid, 398-409.
- CHERNYKH, E.N. (1994): "L'ancienne production minière et métallurgique et les catastrophes écologiques anthropogènes: introduction au problème". *Trabajos de Prehistoria* 51 (2), 55-68.
- CHILDS, S.T. Y KILLICK, D. (1993): "Indigenous African Metallurgy: Nature and Culture", *Annual Review of Anthropology*, 22, 317-337.
- DELIBES, G.; FERNÁNDEZ-MIRANDA, M.; FERNÁNDEZ-POSSE, M.^ªD.; MARTIN MORALES, C.; ROVIRA, S. Y SANZ, M. (1989): "Almizaraque (Almería): minería y metalurgia calcolíticas en el Sureste de la Península Ibérica". En C. Domergue

- (coord.). *Minería y metalurgia en las antiguas civilizaciones mediterráneas y europeas: coloquio internacional asociado* (Madrid, 1985). Instituto de Conservación y Restauración de Bienes Culturales. Madrid, 81-96.
- DÍAZ-DEL-RÍO, P.; LÓPEZ GARCÍA, P.; LÓPEZ SÁEZ, J.A.; MARTINEZ NAVARRETE, M.ªI.; RODRÍGUEZ ALCALDE, A.L.; ROVIRA LLORENS, S.; VICENT GARCÍA, J.M. y ZAVALA MORENCOS, I. de (2006): "Understanding the productive economy during the Bronze Age through archaeometallurgical and palaeoenvironmental research at Kargaly (Southern Urals, Orenburg, Russia)". En D.L. Peterson, L.M. Popova y A.T. Smith (eds.): *Beyond the Steppe and the Sown: Proceedings of the 2002 University of Chicago Conference on Eurasian Archaeology*. Colloquia Pontica 13, Brill. Leiden, 347-361. <http://hdl.handle.net/10261/9727>
 - ENGEL, TH. y FREY, W. (1996): "Fuel resources for copper smelting in antiquity in selected woodlands in the Edom highlands to the Wadi Arabah/ Jordan", *Flora*, 191, 29-39.
 - GRATTAN, J.P.; GILBERTSON, D.D. y HUNT, C.O. (2007): "The local and global dimensions of metalliferous pollution derived from a reconstruction of an eight thousand year record of copper smelting and mining at a desert-mountain frontier in southern Jordan", *Journal of Archaeological Science*, 34, 83-110.
 - GUIOT, J. (1990): "Methodology of the last climatic cycle reconstruction from pollen data". *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 80, 49-69.
 - HEALY, J.F. (1978): *Mining and metallurgy in the Greek and Roman world*. Thames and Hudson. London.
 - HENRY, A.; THÉRY-PARISOT, I. y VORONKOVA, E. (2009): "La gestion du bois de feu en forêt boréale: archéo-anthracologie et ethnographie (région de l'Amour, Sibérie)". En I. Théry-Parisot, S. Costamagno y A. Henry (ed.): *Gestion des combustibles au paléolithique et au mésolithique. Nouveaux outils, nouvelles interprétations. Actes du XV Congrès Mondial* (Lisbonne, 2006). BAR International Series 1914, Archaeopress. Oxford, 17-37.
 - HORNE, L. (1982a): "Fuel for the metal worker. The Role of Charcoal and Charcoal Production in Ancient Metallurgy", *Expedition*, 25 (1), 6-13.
 - HORNE, L. (1982b): "The Demand for Fuel: Ecological Implications of Socio-Economic Change". En B. Spooner y H.S. Mann (eds). *Desertification and Development: Dryland Ecology in Social Perspective*. Academic Press Inc. London, 201-215.
 - JOUFFROY-BAPICOT, I.; PULIDO, M.; BARON, S.; GALOP, D.; MONNA, F.; LAVOIE, M.; PLOQUIN, A.; PETIT, CH.; BEAULIEU, J-L. de y RICHARD, H. (2007): "Environmental impact of early palaeometallurgy: pollen and geochemical analysis", *Vegetation History and Archaeobotany*, 16: 251-258.
 - KNAPP, A.B. (1998): "Social Approaches to the archaeology and anthropology of mining". En A.B. Knapp, V.C. Pigott y E.W. Herbert (eds.). *Social Approaches to an Industrial Past. The Archaeology and Anthropology of Mining*. Routledge. London, New York, 1-23.
 - LULL, V. (1983): *La 'cultura' de El Argar (Un modelo para el estudio de las formaciones económico-sociales prehistóricas)*. Akal. Madrid.
 - MARSHALL, P.D.; O'HARA, S.L. y OTTAWAY, B.S. (1999): "Early copper metallurgy in Austria and methods of assessing its impact on the environment". En A. Hauptmann, E. Pernicka, T. Rehren y Ü. Yalcin (eds.): *The Beginnings of Metallurgy. Proceedings of the International Conference 'The Beginnings of Metallurgy', Bochum 1995*. Der Anschnitt, 9, Bochum, 255-264.
 - MARTINEZ NAVARRETE, M.ªI. (1989): *Una revisión crítica de la prehistoria española. La Edad del Bronce como paradigma*. Siglo XXI. Madrid. <http://hdl.handle.net/10261/9426>
 - MIGHALL, T.M. y CHAMBERS, F.M. (1993):

- “Early Mining and Metalworking: its impact on the Environment”, *The Journal of the Historical Metallurgy Society* 27/2, 71-83.
- MONTERO RUIZ, I. (1994): *El origen de la metalurgia en el sureste peninsular*. Instituto de Estudios Almerienses. Almería.
 - MONTERO RUIZ, I.; GARCÍA-HERAS, M. y LÓPEZ ROMERO, E. (2007): “Arqueometría: cambios y tendencias actuales”, *Trabajos de Prehistoria* 64 (1), 23-40. <http://tp.revistas.csic.es/index.php/tp/article/view/92/92>
 - NELLE, O.; DREIBRODT, S. y DANNATH, Y. (2010): “Combining pollen and charcoal: Evaluating Holocene vegetation composition and dynamics”, *Journal of Archaeological Science*, 37, 9, 2126-2135.
 - OREJAS SACO DEL VALLE, A. (2006): “Arqueología de los paisajes agrarios e historia rural”. En A. Orejas (coord.): *Arqueología espacial: espacios agrarios*. *Arqueología Espacial*, 26, 7-19.
 - OTTAWAY, B.S. (2001): “Innovation, production and specialization in early prehistoric copper metallurgy”, *European Journal of Archaeology* 4 (1), 87-112.
 - OVERPECK, J.T.; WEBB III, T. y PRENTICE, I.C. (1985): “Quantitative Interpretation of Fossil Pollen Spectra: Dissimilarity Coefficients and the Method of Modern Analogs”, *Quaternary Research*, 23, 87-108.
 - PRIAJIN, A.D. (2008): *Dono-Donetzkaia steplesostep v epogu bronzy. Istorii izucheniia (Vtoraia polobina XIX-nachalo 90-j gg. XX v.)*, 1. Izdatel'sko-poligraficheski tsentr Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Voronezh.
 - RASMUSSEN, P. (1993): “Analysis of Goat/Sheep Faeces from Egolzwil 3, Switzerland: Evidence for Branch and Twig Foddering of Livestock in the Neolithic”, *Journal of Archaeological Science*, 20, 479-502.
 - ROVIRA, S. (1999): “Una propuesta metodológica para el estudio de la metalurgia prehistórica: el caso de Gorny en la región de Kargaly (Orenburg, Rusia)”, *Trabajos de Prehistoria*, 56 (2), 85-113. <http://tp.revistas.csic.es/index.php/tp/article/view/277/276>
 - ROVIRA, S. y MARTÍNEZ NAVARRETE, M.^ªI. (2005): “Kargaly, esplendor minero en la Edad de Bronce”, *Tierra & Tecnología*, 27, 29-38. <http://hdl.handle.net/10261/9690>
 - ROVIRA, S.; MONTERO RUIZ, I. y CONSUEGRA RAMÍREZ, S. (1997): *Las primeras etapas metalúrgicas en la Península Ibérica*. Instituto Universitario Ortega y Gasset. Fundación José Ortega y Gasset. Ministerio de Cultura [Madrid].
 - SAVRASOV, A.S. (1996): “Prilozheniia. Eksperimentalnoe isuchenie tekhologii metalloobrabatvavaiushevo proizvodstva”. En A.D. Priajin: *Mosolovskoe poselenie metallurgov-liteischikov epoji pozdnei bronzy*, 2. Isdatel'stvo Voronezhskogo universiteta. Voronezh, 135-158.
 - SCHMIDT, P.R. (1997): *Iron Technology in East Africa. Symbolism, science, and archaeology*. Indiana Publishing Press. Bloomington, Indianapolis.
 - STÖLLNER, Th. (2003): “Mining and Economy. A Discussion of Spatial Organisations and structures of Early Raw Material Exploitation”. En Th. Stöllner, G. Körlin, G. Steffens y J. Cierny (eds.): *Man and Mining. Studies in honour of Gerd Weisgerber*. Der Anschnitt 16. Bochum, 415-446.
 - TARASOV, P.; WILLIAMS, J.W.; ANDREEV, A.; NAKAGAWA, T.; BEZRUKOVA, E.; HERZSCHUH, U.; IGARASHI, Y.; MÜLLER, S.; WERNER, K. y ZHENG, Z. (2007): “Satellite- and pollen-based quantitative woody cover reconstructions for northern Asia: Verification and application to late-Quaternary pollen data”, *Earth and Planetary Science Letters*, 264, 1-2, 284-298.
 - TYLECOTE, R.F. y BOYDELL, P.J. (1978): “Experiments on Copper Smelting Based on Early Furnaces Found at Timna”. En B. Rothenberg, R.F. Tylecote y P.J. Boydeell (eds.): *Chalcolithic Copper*

Smelting. Excavations and Experiments. Institute for Archaeo-Metallurgical Studies, monograph number one. London, 27-49.

- UZQUIANO, P. (2002): "Prilozhenie 1. Opredelenie drevesnyx ostatkov s Gornogo". En E.N. Chernyj (ed.): *Kargaly, tom. II: Gornyi poselenie epokhi pozgnei bronzy: Topografiya, litologiya, stratigrafiya: Proizvodstvenno-bytovye i sackralnye sooruzheniia: Otnositelnaia i absolyutnaia jronologiya.* Yazyki Slavianskoi kultury. Moskva, 166-169.
- VICENT GARCÍA, J.M.; MARTÍNEZ NAVARRETE, M.ªI.; LÓPEZ SÁEZ, J.A. y ZAVALA MORENCOS, I. de (en prensa): "Impacto medioambiental de la minería y la metalurgia del cobre durante la Edad del Bronce en Kargaly (región de Orenburgo, Rusia)", *Trabajos de Prehistoria*, 67 (2) 2010,
- VICENT GARCÍA, J.M.; ORMEÑO, S.; MARTÍNEZ NAVARRETE, M.ªI. y DELGADO, J. (2006): "The Kargaly Project: modelling Bronze Age landscapes in the steppe". En S. Campana y M. Forte: *From Space to Place: 2nd International Conference on Remote Sensing in Archaeology. Proceedings of the 2nd International Workshop, CNR, Rome, Italy, December 4-7, 2006.* British Archaeological Reports S1568, Archaeopress. Oxford, 279-284.
- VICENT GARCÍA, J.M.; RODRÍGUEZ ALCALDE, A.L.; LÓPEZ SÁEZ, J.A.; ZAVALA MORENCOS, I. DE; LÓPEZ GARCÍA, P. y MARTÍNEZ NAVARRETE, M.ªI. (2000): "¿Catástrofes ecológicas en la estepa? Arqueología del Paisaje en el complejo minero-metalúrgico de Kargaly (Región de Orenburg, Rusia)", *Trabajos de Prehistoria* 57 (1), 29-74. <http://tp.revistas.csic.es/index.php/tp/article/view/260/260>