

A PROPÓSITO DE UN LIBRO RECIENTE SOBRE LA METALURGIA DEL ESTAÑO. EL MÉTODO CIENTÍFICO EN LA INTERPRETACIÓN ARQUEOLÓGICA, COMO POSIBILIDAD PARA FORMULAR PREVISIONES, O LAS TRES LEYES FUNDAMENTALES DE LA ARQUEOMETALURGIA

José María Blázquez Martínez
Departamento de Historia Antigua
Universidad Complutense de Madrid*

RESUMEN

Reflexiones y comentarios sobre un estudio de la agro-metalurgia del estaño desde una perspectiva físico-metalúrgica. Se analizan los aspectos arqueológicos de la cuestión y se recurre al empleo de la etnología comparada.

Palabras clave: Agrometalurgia. Interpretación arqueológica. Etnología comparada.

SUMMARY

Reflexions and comentary about a study of the agro-metalurgy of tin from the fisico-metalurgical perspective. It coincides in its analysis with two arqueological aspectos of the problem and also with the complex processes of comparative ethnology.

Key words: Agrometallurgy. Archaeological. Interpretation. Compared Ethnology.

Acaba de publicarse un libro que ofrece una visión novedosa del tema, por lo que nos vamos a permitir su comentario. Se trata del trabajo de A. Madroñero, físico metalúrgico e investigador del Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgicas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas, «The ancient tin trade in Galicia and its

interpretation through petroglyphs» (*Bulletin of Metals Museum*, Sendai, Japon, vol. 18, nov. 1992, p. 44), del que la obra que comentamos constituye la edición española: A. Madroñero, *Una posibilidad de rastreo de los orígenes de la Metalurgia del Estaño en España* (Cuadernos do Seminario de Sargadelos, Edicions do Castro, 1994).

* Ciudad Universitaria. 28040 Madrid.

En dicha obra se muestra un puro trabajo de laboratorio y de gabinete, apenas sin arqueología de campo¹. Se llega a una interpretación del significado de los petroglifos gallegos en base al estudio del material arqueológico expuesto en la obra de F. J. Costas Goberna et al. «Petroglifos del litoral Sur de la Ría de Vigo» (Publicación nº 8 del Museo Municipal Quiñones de León de Vigo (1984). Lo que aquí vamos a analizar son las posibilidades de que las *predicciones* que se enuncian en «The ancient... petroglyphs», se vean confirmadas en posteriores publicaciones arqueológicas. Por de pronto, en la reciente publicación de los arqueólogos A. de la Peña Santos y J.M. Vázquez Varela «Los petroglifos gallegos» (Edicios do Castro, 1992) aparece la confirmación de la más atrevida de las predicciones, la de la existencia de grabados con el mismo significado fuera de Galicia. Y nos consta que entre estos autores, A. Madroñero por un lado, y A. Peña Santos y J.M. Vázquez Varela no hay ni hubo relación ni conexión alguna. Son un perfecto ejemplo de investigaciones independientes, realizadas con metodologías distintas, con algunos temas en común, y conclusiones distintas pero concordantes. En la obra de A. Madroñero, que empieza con la problemática del origen del bronce, el problema fundamental es el cómo fue la metalurgia del estaño, y la cultura material a la que *seguro* que dio lugar. Se llega a la interpretación de los petroglifos como el último e inevitable peldaño, presentándolos con un contenido de prescripción interpretable en términos del quehacer material, y sacándolos (deseamos

que para siempre) de su contexto exclusivamente religioso y mágico.

Por el contrario, en la obra, canónicamente arqueológica, de Peña Santos y Vázquez Varela se intenta determinar los elementos más significativos y/o repetitivos dentro de la amplísima iconografía de los petroglifos y su comparación con grafos de un horizonte similar, pero ubicados en áreas distintas, para su estudio con criterios arqueológicos.

El trabajo «Una posibilidad de rastreo... en España» aparece montado, exclusivamente, sobre una pregunta fútil, aparentemente inocente: ¿Cómo fue el origen del estaño? ¿Cómo fue posible el que el hombre prehistórico vislumbrase la ventaja de añadir el estaño, tan escaso y tan ignoto, al cobre, cuya asentada cultura provenía del lejano Oriente?

Aceptando una única y muy razonable hipótesis de trabajo «La clave a tal pregunta debe estar muy a la vista, fácilmente revelable (el conocimiento abstracto de los metales por parte del hombre prehistórico) en el solar en donde están ubicadas las menas del estaño» el autor se desplaza a Galicia y analiza la composición química de las distintas fases que componen las menas del estaño. Acude al entorno de una pequeña mina de estaño y comprueba que los minerales que aparecen por la superficie están compuestos de unas fases fácilmente desmoronables en la mano, que contienen unos bellos cálculos de casiterita cristalizada (similar al azabache, de tan amplia tradición en la bisutería de la zona), y gránulos de estaño metálico puro, fácilmente agrupables en un lingote mediante un muy simple proceso de fundición (el estaño funde a una temperatura de 232°C).

Como atinadamente y con conocimiento de causa se recoge en el libro, los glóbulos de estaño pueden ser reconocibles en los textos clásicos («practican el intercambio de especies o dan pequeñas láminas de plata [¿gránulos de estaño aplastados?] recortadas en lugar de moneda» Estrabón III, 3, 7). Los cálculos de casiterita son reconocibles en el texto de San Isidoro asociados al estaño (*Etimologías*, Libro XIV, 22) y diferenciables del azabache (*Etimologías*, Libro XVI, 4, 3). Las fases desmoronables presentan todos los aspectos morfológicos de «la sal púrpura, pero que al molerla se hace blanca» (Estrabón, III, 3, 7) y que el gran geógrafo asocia a los habitantes de las islas Casitérides «Tienen metales de estaño y plomo, y los cambian, así como las pieles de sus bestias, por cerámica, sal y utensilios de bronce que les llevan los mercaderes» (Estrabón, III, V, 11). Si ellos tienen sal ¿qué sentido tiene que la adquieran? Simplemente, que lo que adquirirían era cloruro sódico de las salina meridionales, para uso médico, para condimentación y conservación de los alimentos (San Isidoro, *Etimologías*, Libro XVI, 2, 2).

Pero la gran sorpresa es que esta «sal blanca» que acompaña al estaño, son sustancias cuarcíferas y estanníferas que sin más que un simple calentamiento al fuego forman un excelente vidrio. Salta a la mente el relato

¹ El Dr. Madroñero se ha asomado a la geografía gallega, ha manejado elementos tomados sobre el terreno. Si a pesar de ello afirmamos que no ha hecho trabajo de campo es porque de manera general el método operativo de la Arqueología consiste en la recuperación de los restos antiguos y su interpretación, en base a su contexto, comparativo o absoluto, y a lo que nos es conocido de acuerdo con el legado cultural del Mundo Antiguo. Estamos tan habituados a este esquema, que quizás no siempre se valore adecuadamente la posibilidad de aceptar nuevas pautas de investigación científica que procuren una ampliación de los conocimientos sobre la Antigüedad por otra vía que la del encontrar un nuevo rastro o reliquia. El libro que nos ocupa no parte de hornos de estaño que conozcamos o de minas del mismo mineral que hayan dejado restos arqueológicamente estudiados. Parte de la teoría de la ciencia, de imágenes metalúrgicas, de un conocimiento suficiente del campo que pisa, pero avanza en su investigación con la ayuda de la razón teórica y con el apoyo de piezas que hasta ahora nadie se había atrevido a catalogar dentro de este contexto, pero que con razones más que probables admiten este nuevo encuadramiento. Esta nueva forma de afrontar el tema equivale a lo que ocurriría si por ejemplo, la Geología demostrase incuestionablemente que en determinados tiempo y región tuvo lugar un importante cambio climático, habría que introducir este hecho, hasta ahora desconocido en el contexto de aquel Mundo, en la interpretación de los restos, arquitectónicos, de utillaje, etc., aunque ello pudiera suponer un retoque en anteriores interpretaciones de dichas reliquias. Un utensilio se interpreta en función de lo que se sabe o se supone que era el quehacer cotidiano del hombre antiguo, y se sabe tan poco acerca de los detalles de aquel Mundo, que hay que aceptar que algunos conocimientos obtenidos a través de la Arqueología pueden sufrir una importante alteración cuando para reinterpretar restos antiguos aceptemos la existencia de pautas de comportamiento de las que no quedó rastro alguno.

de Plinio (*Historia Natural* 6. 379) y San Isidoro (*Etimologías*, XVI, 16) el «casual» descubrimiento del vidrio por unos mercaderes que hacen fuego en una playa.

Es decir, el primitivo buscador de piedras llamativas, en el blanco entorno de los atractivos negros cálculos de casiterita descubre glóbulos metálicos y una «sal» que funde con el fuego dando vidrio. Esta «sal» se lleva al Medio Oriente como colorante de los vidrios. Es la primera ola del estaño.

En Oriente están probando como añadir fundentes al horno de cobre, para mejorar la formación de la escoria (haciéndola más fluida y separable de los glóbulos de cobre que el horno rinde), ya que en las explotaciones del rey Salomón en el desierto de Arabah han aprendido que añadiendo óxido de manganeso al horno, la reducción del óxido de hierro es más fácil y fructífera. Al añadir esta «sal blanca», no sólo funciona mejor el beneficio en el horno, sino que el «cobre» obtenido (bronce) es mejor y más fluido, lo que da lugar a procesos como la cera perdida, no posible con el cobre puro.

Como el mineral de cobre abunda por doquier, en el solar del estaño gallego se extiende la actividad metalúrgica avanzada, que permite exportar lingotes de bronce (piel de buey) y de estaño.

La asociación del estaño-vidrio-bronce permanece en el recuerdo de los clásicos, sin más que unos leves retoques en sus escritos. Cuando de tiempos de Tiberio se relata lo de un esclavo que obtuvo un vidrio que podía devaluar la plata (por simple densidad un vidrio y un metal pesado son inconfundibles), y que los abollamientos del cáliz de estaño los corregía con un simple martillado, lo que en realidad está diciendo San Isidoro (*Etimologías*, 16, 6) es que el cáliz era de un metal con aspecto similar a la plata y con alguna relación con la materia prima del vidrio (el artesano era vidriero).

La metalurgia del bronce adquiere durante una cierta época una importancia estelar. Los clásicos describen algunas operaciones del beneficio, que practicaban los nativos, como por ejemplo, las operaciones de lavado de los minerales para librar los gránulos de estaño «esta tierra es arrastrada por los ríos, y las mujeres, una vez amasada la arena, la lavan en tamices tejidos en forma de cesta» (Estrabón, III, 2, 9). Pero como el relato literario aparece incompleto, en «Una posibilidad de rastreo... en España» se toma la postura de enumerar, a la luz de la moderna Metalurgia Extractiva, como *tuvieron que ser* las distintas operaciones de extracción y laboreo que daban lugar a la producción de piezas de bronce, así como los utensilios y la infraestructura y equipamientos necesarios.

Aparecen así los lavaderos de mineral en piletas en cascada, los hornos de fundición con sus salidas conjuntadas en un solo receptáculo de recogida para conformar lingotes de un cierto tamaño, moldes para hachas de talón (fácilmente confundibles en un dibujo simplista con puñales), etc. Curiosamente, estas figuras, en forma ideográfica, apa-

recen repetitivamente recogidas en los petroglifos gallegos. Tantas y tan repetidas coincidencias no pueden ser fruto, en modo alguno, de la casualidad. Para mayor abundancia, las operaciones de laboreo de minerales y de metalurgia extractiva, mostradas en las formidables láminas de «*De Re Metallica*», escrita en Basilea en 1556, describen, casi al pie de la letra, aunque con las enormes diferencias que la dispar técnica pictográfica impone, las mismas operaciones metalúrgicas que pueden advertirse a partir de los repetitivos petroglifos gallegos.

Así pues, los petroglifos gallegos pueden ser considerados un mensaje pictográfico con la utilidad o misión pública de señalar los puntos de reunión estacional, las rutas del comercio, la ubicación, en fin, de «ferias» y eventos relacionados con el quehacer del estaño y del bronce.

Y nadie debe pedir como una demostración de este aserto, al viejo estilo, algo así como que en el próximo futuro se encuentren vasos cerámicos con escenas de la vida cotidiana, en la que un metalurgo extrae piezas de un dibujo similar a lo que aparece dibujado en los petroglifos, como a una alabarda por ejemplo. Primero de todo porque en la ciencia estamos acostumbrados a admitir hechos antes de que se «comprueben» (el planeta Neptuno fue bautizado así por Le Verrier por lo mucho que le hizo sudar al verle; pero se sabía por cálculo donde estaba *con toda seguridad*, el último de los planetas. Segundo porque ya están encontradas las pruebas indiscutibles, y son los grabados de Agrícola. En éstos, la conclusión se construyó 1º) estableciendo qué elementos tenían que constituir el utillaje y las operaciones de la actividad económica del estaño [recordemos que la Metalurgia Científica no es más que Física y Química]; y 2º) comprobando que estas previsiones encajan prácticamente con los grabados petroglifos. La coincidencia con los grabados de Agrícola es una agradable «comprobación» que nos dice que los modos metalúrgicos del Mundo Antiguo van a mantenerse (al menos en sus aspectos externos) hasta casi el siglo XVII, hasta los inicios del uso masivo del carbón mineral en la metalurgia extractiva del hierro. Aunque Agrícola no hubiese escrito su libro, podrían haberse interpretado los petroglifos como un contenido metalúrgico.

Siguiendo con el paralelismo, o más bien relación casual entre el vidrio y el estaño, fijémonos en que no hay un solo grabado antiguo de un horno de vidrio. Y, sin embargo, aceptamos que tales hornos tuvieron que existir (no se sabe con qué aspecto), ya que las piezas del vidrio clásico pueblan las vitrinas de múltiples museos. Del mismo modo en Física se aceptaba la existencia de las ondas electromagnéticas enunciadas por Maxwell, por más que se tardó mucho tiempo hasta que Hertz las visualizara.

Es decir que la Ciencia no da como cierto un aserto hasta que no se comprueba empíricamente no es más que un mal uso del lenguaje. La Ciencia se basa en el empirismo, pero emite conclusiones y predicciones sobre magnitudes invisibles. Isaac Newton, a consecuencia de meditar sobre

algo tan real como la caída de una manzana estableció algo tan abstracto como es la gravitación; y para admitir la gravitación los físicos de su tiempo tuvieron que aceptar el concepto de «campo de fuerza» que hasta entonces no se había necesitado.

La emisión de esta conclusión presupone, lógicamente, la previsión de que en otros lugares del mundo con actividades similares, deberían advertirse pictogramas, petroglifos o similares, con escenas recogiendo lo esencial de las operaciones (como más abajo diremos la formulación de lo que podría ser la primera ley de la Arqueometalurgia podría hacerse así: «*lo que tuvo que ser fue siempre, y fue siempre igual. Lo accesorio es lo que englobamos en el concepto CULTURA*»).

En este contexto, el texto «Los petroglifos gallegos» (pp. 36-38) muestra dibujos de laberintos similares a los que en los petroglifos gallegos simbolizan los hornos de fundición de estaño, en Cornualles, en Irlanda, en Italia, en Grecia, en Creta y en Palestina. Y para mayor abundancia en algunos muy escasos puntos de los EE.UU. (en Hollywood y en Arizona).

Está claro que como múltiples casualidades o coincidencias no pueden aparecer simultáneamente, hay que admitir la capacidad de previsión de la Arqueometalurgia, o lo que es igual, su madurez y su eficacia. En síntesis, la Arqueometalurgia no es la utilización de la analítica metalúrgica para el estudio de piezas arqueológicas, sino una filosofía para presentar problemas. Problemas que, una vez planteados, deberán ser resueltos desde los distintos ángulos de abordaje que las Ciencias y las Humanidades ofrecen. Parodiando el lenguaje de los principios fundamentales de cualquier campo del Conocimiento, podríamos enunciar una «Segunda Ley de la Arqueometalurgia», o sea, decir que *no es que la Arqueometalurgia sea rabiosamente interdisciplinaria, porque ello no sería más que decir que La Verdad es interdisciplinaria. Más propiamente diríamos que un excesivo academicismo hace a los métodos de investigación histórica excesivamente monodisciplinarios.*

Y continuando dentro de un talante razonablemente lúdico, podría decirse, *en tercer lugar, que las cuestiones de mayor interés dentro de la Arqueometalurgia no son alambicadas cuestiones ni excelsos detalles. Antes bien, son preguntas bien fáciles y bien simples, con lo cual acabamos de tener la satisfacción, nada menos, que de pronunciar tantos Principia como Newton en su Mecánica.*

Por encima de la aportación concreta que el libro que comentamos nos trae al tema del estaño su interés es teórico: Nos enseña prácticamente algo muy importante sobre la metodología del trabajo científico interdisciplinar en el ámbito de la Arqueometalurgia y en el de la Arqueología. La actual Ciencia de los Metales no puede aportarnos una historia de la Metalurgia, pero tenemos la oportunidad y la obligación de aceptar las pautas que la ciencia metalúrgica impone en la interpretación del legado metalúrgico antiguo. Si por ejemplo, el análisis de unas escorias indica que

en un cierto punto se beneficiaba plata, habrá que aceptarlo por más que un texto clásico hable inequívocamente del beneficio del oro, y sólo del oro, en aquel punto. Tal aceptación no significa la inhabilitación del caudal de conocimientos que suponen los textos clásicos, sino que el autor no conocía la verdad completa. Por otra parte son perfectamente compaginables ambas aportaciones, dado que la geología nos explica porqué en la montera de un yacimiento de plata es esperable la existencia de pequeñas cantidades de oro libre, cuyo beneficio sirvió para llamar la atención sobre dicho enclave.

En temas de incuestionables o muy probables aspectos metalúrgicos no debe exigirse para su aceptación que dichos conocimientos se limiten a confirmar, a completar o a ampliar conocimientos preexistentes, elaborados en el marco de la Arqueología convencional. Antes bien, deben ser aceptados aun cuando supongan una grave alteración o contradicción de ideas anteriores, pues en resumen no son sino la consecuencia de plantear la interpretación de los mismos ya conocidos hallazgos metalúrgicos, pero desde otro punto de vista diferente. Esta filosofía no es más que la aceptación del método de la Física Clásica. Albert Einstein y L. Infeld escribían en su obra *The evolution of the Physics* (escrita en 1938) párrafos como los siguientes: «*The formulation of a problem, is often more essential than its solution, which may be merely a matter of mathematical or experimental skill*». «*Scientific concepts often begin with those used in ordinary language for the affairs of every day life, but they develop quite differently. They are transformed and lose the ambiguity associated with them in ordinary language, gaining in rigorosity so that they may be applied to scientific thought*». La aceptación de esta línea de pensamiento va a permitir lo que es habitual en la Física, la predicción. Si en la Física en su versión más clásica, basta con tomar nota de unos cuantos registros de posiciones-tiempo separadas y discontinuas de un proyectil (con intervalos de desconocimiento), *para prever con precisión y seguridad* las futuras posiciones del proyectil en su trayectoria todavía no recorrida, debemos pensar que puede haber previsiones arqueometalúrgicas (la ciencia metalúrgica no es sino Física y Química) que deben ser aceptadas sin la necesidad de exigir su comprobación con descubrimientos de nuevos restos o escritos que las constaten. De hechos puntuales y discontinuos en el tiempo pueden inferirse prolongadas y continuas evoluciones en el tiempo.

Las diferencias esenciales entre los métodos de trabajo de la Física y de la Arqueología clásicas son dos. La primera estriba en la cantidad de conocimiento previo a la elaboración del razonamiento, del conocimiento de partida. Mientras que la Física utiliza sólo un escasísimo número de indiscutibles Leyes Fundamentales, la Arqueología intenta partir de cuantos más conocimientos experimentales puntuales (restos arqueológicos de asentamientos vecinos en el espacio y en el tiempo), mejor. De hecho, la

creación por excelencia del arqueológico es el concepto de «Cultura de...». El concepto «cultura» amalgama un amplio conjunto de aspectos materiales junto con la filosofía vital de la sociedad que los producía. Así como los físicos interpretan la realidad a la luz de sus Leyes intemporales, el pensamiento humanista pivota sobre culturas definidas en tiempo y espacio.

La segunda es en el papel del Hombre, que en las Humanidades juega un papel contradictorio. Por una parte, un Julio César, o un Napoleón, o un Alejandro Magno pueden alterar el curso de la Historia. Por otra parte, el inventor aislado no existe; existe el conocimiento cultural que se transmite, conocimiento que nació despacio y difuso y se extiende como mancha de aceite. Cualquier resto arqueológico, si no es encasillable en una cultura, suele carecer de valor propio.

Por el contrario, un diseñador de aviones, por ejemplo, no se preocupa de la estética de su producto (simplemente, le sale el avión tanto más bello cuanto más profundamente conoce la ciencia del diseño). Nadie le pregunta «¿cuántos aviones parecidos hay existentes?». Que un avión asiático y un avión europeo se asemejen solamente significa que fueron diseñados con los mismos principios para misiones de utilización similares, pero sin «difusión cultural» alguna.

Si definimos la Arqueometalurgia, no como una mayordomía de laboratorio (análisis de una pátina para facilitar la recuperación de una pieza, asimilación de una pieza a la composición de la vecina mena para identificar su manufactura local o su procedencia del comercio, etc.), sino como la aventura de tomar la filosofía del relojero de Einstein (más adelante lo describimos), e intentar recrear *lo que pudo o tuvo que ser* la Historia de la Metalurgia a la única luz de las escasas leyes de la Ciencia de los Metales, la aventura mental puede ser realmente apasionante. Y en el fondo, esto no es más que el trueque de la deducción humanística a partir de múltiples resultados arqueológicos («el hombre es indefinible; llamamos hombre a un componente de una Sociedad»), por la inducción científica (antes que el hombre apareciera, el Mundo se creó y se regía por las leyes intemporales del Universo).

Por ejemplo, basta mirar a los valores de energía libre en las reacciones químicas que liberan (en el horno de beneficio) al buscado metal de la más o menos compleja molécula (mena metálica) en la que se presenta combinado en la naturaleza (lo que en Química se denomina «Diagrama de Ellingham»), para ver que la Historia de la Metalurgia estaba predeterminada antes de que el Hombre apareciera sobre la faz de la Tierra.

Vamos a hacer un muy somero repaso. El antedicho diagrama se inicia con el oro como único metal en el que no hay que gastar energía para conseguir su liberación. A continuación siguen los metales liberables con poco gasto energético, y el cobre, plomo estaño, estando en el umbral de este grupo, la plata. Las múltiples formas del hierro y el

zinc continúan la escala de requerimiento energético. Los siguientes, cromo, vanadio, exhiben unas necesidades de energía liberalizadora que sólo fueron alcanzables con la revolución industrial. En menas más estables el aluminio, el magnesio y el titanio justifican su no aparición hasta el próximo ayer, cuando la electrometalurgia rebasaba el poder liberador del fuego. Cerrando la sucesión, el uranio, torio y cesio nos abren la época de los ingenios nucleares.

Surgen curiosidades, sin duda, en la contemplación del diagrama de Ellingham. Como el níquel (en el teatro de operaciones del mundo antiguo no hay menas de níquel) aparece con valores de energía próximos al hierro, se puede asegurar, aunque nunca podrá ser arqueológicamente demostrado, que si los españoles hubiesen retrasado en algunos siglos su arribo a las Américas, se habrían encontrado con una «Metalurgia del Cobre», una «Metalurgia del Bronce», una «Metalurgia del Níquel», y una «Metalurgia del Hierro». Continuando, ya muy informalmente, en esta línea, no podemos por menos que sonreír con la idea de un neo-Atahualpa despreciando al oro desde su trono de acero inoxidable, al igual que en los banquetes de la emperatriz Eugenia de Montijo se despreciaba la plata usando cucharas hechas del entonces novísimo aluminio. No es la calidad de los metales lo que despierta la codicia de los humanos, sino su escasez o rareza.

Pero volvamos a la posible armonización de la filosofía que rige la investigación en la Historia con el pensamiento de la Física como interpretación del Mundo. Parece difícil evitar el pensamiento instintivo de decir «lo que es bueno para la Física no tiene por qué serlo para la Historia, que es el registro de la Humanidad y no de la Materia Inanimada». Para mayor abundancia, hay otra frase muy interesante de Albert Einstein en *The evolution of the Physics*: «A scientist looks as a man trying to understand the mechanism of a closed watch. He can never open the watch; he can only form a picture of a mechanism that would explain what he sees happening on the face of the watch. He will never be able to compare this picture with the real mechanism, but he certainly believes that, as his knowledge increases, his picture of reality will become simpler and simpler and will explain a wider and wider range of the sensuous impressions». O lo que es lo mismo, la Física no busca la Verdad del Mundo, sino el poder predecir (con el lenguaje matemático), el comportamiento futuro del mundo inanimado en cuanto a lo que nuestros sentidos puedan llegar a apreciar. Este aserto haría sonreír a los biofísicos, que con sus redes neuronales, su inteligencia artificial y su ingeniería genética, intentan demostrar que, al final y a la postre, el hombre no es sino un montón de átomos («*Memento homo quia pulvis est et in pulverem reverteris*»).

Realmente, una vez puesta en marcha la maquinaria de la Arqueometalurgia ante un tema concreto, el único real problema mental estriba en comprobar si el resultado es *lo que pudo ser o lo que tuvo que ser*. Y nos tenemos que acostumbrar a no preguntarnos si pudo haber aviones más

bellos que los que el diseño y el cálculo han producido; la Verdad es sólo una. Cuando Foucault reunió a los académicos en los Inválidos de París y les demostró con su famoso péndulo que la rotación de la Tierra era comprobable y medible, nadie intentó ver el giro planetario como el logro de «una cultura de los péndulos». Las conclusiones de la Ciencia no son una hipótesis, son un retazo del Conocimiento conseguido por la vía de la inducción a partir de unas leyes, con quizás, alguna medición puntual en el objeto de estudio. La piedra de toque de la calidad del método inductivo a partir de poco más que un puñado de leyes, es *su capacidad de predicción*. Y tal capacidad le exime de necesitar una comprobación a través de excavaciones arqueológicas. Cuando se enjuicia una previsión, se puede y se debe enjuiciar el rigor de cada uno de sus pasos, pero es improcedente el pedir una comprobación mediante el resultado de excavaciones arqueológicas.

Ante la similitud entre algunos aspectos comunes entre los hornos de beneficio precolombinos, africanos y del mundo clásico, podríamos enunciar la «ley fundamental de la Arqueometalurgia» como: «lo que tuvo que ser fue siempre, y fue siempre igual. Lo accesorio es lo que englobamos en el concepto CULTURA».

Para mostrar las posibilidades de esta filosofía no queda sino mostrar en la literatura arqueometalúrgica algún ejemplo de aplicación de la utilización de la Ciencia de los Metales en la interpretación de restos metalúrgicos, en la que dicha interpretación, fundamentada en las leyes de la Físico-química, contenga alguna previsión, no alcanzable por la vía de la Humanística. Aunque no necesita ser demostrada, si sería deseable que apareciese como más o menos o comprobable.

Añadamos que en casos como éste que comentamos una cosa es la lógica que formulamos y otra el modo en que la aplicamos y las implicaciones concretas que determinados puntos de referencia pueden llevar consigo; y es posible que las afirmaciones del Dr. Madroñero en diferentes aspectos del problema que toca puedan ser sometidas a revisión por él mismo o por otros y que en el avance de la investigación algunas o varias de sus afirmaciones puedan y deban ser revisadas. Ello no quitará valor a esta obra cuya lectura es sugestiva y fecunda para cuantos tenemos ante los ojos la historia de la investigación sobre las técnicas metalúrgicas a lo largo de los tiempos. Sea, pues, bienvenida lo mismo que la excelente Forschungsbericht sobre el tema que nos ofrece en el prólogo nuestro discípulo y amigo el Dr. González Blanco.