

QUÍMICA EN ARQUEOLOGÍA Y LA ARQUEOLOGÍA DE LA QUÍMICA: EL ENSAYO

Por Marcos MARTINÓN-TORRES (*)

Institute of Archaeology. University College London.

Departamento de Historia I. Universidade de Santiago de Compostela.

Abstract: *Chemistry in archaeology and the archaeology of chemistry.* The history of chemistry and alchemy has hitherto been researched using mainly written sources. This paper explores the limitations of this traditional approach and argues that archaeology could be a complementary strategy to overcome these problems. Subsequently, Renaissance fire assay is taken as a case study, as a common experiment conducted by chemists, alchemists and metallurgists. The main archaeological remains related to these activities are characterised, together with technical and functional details, and some clues are given to facilitate their identification and preliminary assessment. Most of the examples are taken from an ongoing research on the assemblage from Oberstockstall (Austria), the most comprehensive Renaissance laboratory so far excavated.

Keywords: Chemistry, alchemy, archaeometallurgy, assay, scorifier, crucible, cupel, Oberstockstall.

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas se ha venido comprobando cómo la aplicación de metodologías científicas en el análisis de restos arqueológicos incrementa

(*) La investigación en curso sobre los restos arqueológicos de ensayos forma parte de un proyecto de doctorado bajo la supervisión del Prof. Dr. Thilo Rehren. A él debo innumerables directrices y comentarios, además de formación y estímulo. Agradezco también al Dr. Bill Sillar sus interesantes observaciones. El proyecto se lleva a cabo gracias al generoso apoyo económico del Área Sociocultural Caixanova, Dixon Studentship of the University of London y Arts and Humanities Research Board. Vaya también por adelantado mi agradecimiento a todo aquél que pudiese comunicarme eventuales hallazgos similares a los que se presentan aquí. <m.martinon-torres@ucl.ac.uk>

exponencialmente nuestras posibilidades de explotar su potencial informativo. En particular, el análisis químico de cerámicas, metales, escorias, pigmentos, huesos, rocas e innumerables materiales se ha convertido en objeto de monografías y contenido mayoritario de revistas especializadas, entre otras muchas publicaciones y proyectos de investigación de variada índole. En la medida en que los resultados de los análisis arqueométricos se interpretan cada vez más en relación al contexto histórico y arqueológico de los artefactos, y no constituyen meros anexos documentales de informes y memorias, resulta incuestionable la contribución que la ciencia química está realizando en el conocimiento arqueológico. Hablamos, por tanto, de *química en arqueología*.

Sin embargo, paradójicamente, apenas se ha planteado la posibilidad de invertir esta relación: explorar las posibilidades de una *arqueología de la química*. Este artículo se centra en esta segunda opción. En él nos proponemos demostrar cómo identificando y analizando debidamente los restos arqueológicos de experimentos químicos podemos contribuir a la historia de esta ciencia. Para ello, empezaremos por enumerar las limitaciones de los tradicionales estudios de historia de la química, basados mayoritariamente en fuentes escritas. A continuación expondremos en qué medida la arqueología puede ayudar a superar esos problemas. En la segunda parte del artículo presentaremos algunos ejemplos de restos arqueológicos de ensayos químicos, la mayor parte tomados del yacimiento de Oberstockstall (Austria), y algunos resultados analíticos preliminares de una investigación en curso. Con ello pretendemos dar a conocer un tipo particular de restos arqueológicos que podrían fácilmente aparecer en las frecuentes excavaciones de rescate en contextos urbanos y que, careciendo de ciertos conocimientos, quizás pudieran pasar desapercibidos o ser catalogados como restos de menaje común, sin que se explote todo su potencial informativo. Todos los ejemplos se tomarán de hallazgos procedentes del Renacimiento, por considerarse ésta una época especialmente significativa ya que en ella tienen lugar, por un lado, una eclosión en la experimentación en busca de la piedra filosofal y, por otro, el nacimiento de la química moderna como la entendemos hoy.

LA HISTORIA DE LA QUÍMICA Y SUS LIMITACIONES

La historia de la química ha sido durante mucho tiempo el pasatiempo de eruditos y, a menudo, de químicos retirados. Sin embargo, la fascinación de este campo ha ido atrayendo a investigadores de distinta formación y, así, progresivamente, a los científicos se unen «historiadores sociales, historiadores de las ideas, filósofos, sociólogos, así como historiadores de la farmacia, la medicina o la tecnología» (Russell 1985, 4). La principal fuente de información empleada para reconstruir la historia de la química es el amplio corpus de tratados y otros escritos de diversas épocas. Su uso ha resultado muy fructífero, y de hecho muchos estudios exclusivamente basados en estas fuentes pueden todavía considerarse

clásicos. Sin embargo, una revisión de los principales trabajos en este ámbito nos ha llevado a identificar ciertas limitaciones.

En primer lugar, las tradicionales historias de la química tienden a centrarse en grandes figuras que supusieron revoluciones en el desarrollo de la ciencia (p. ej. Farber 1961; Partington 1960; 1962-70; Hannaway 1975; Debus 1978; Levere 1994). En este sentido, han conseguido que «una disciplina cada vez más austera aparezca más humana, proporcionando modelos personales y mostrando cómo el progreso de la química fue normalmente más dialéctico que en línea recta» (Knight 1992, 3). Sin embargo, estos trabajos están ignorando a muchos químicos corrientes que pudieran representar el verdadero estado de la investigación en su tiempo.

En segundo lugar, y particularmente en lo que concierne a la química del Renacimiento, muchos autores se enfrascan en debates teóricos e ignoran el lado práctico de esta ciencia (p. ej. Thorndike 1923-1958; Butterfield 1950; Rossi 1970; Debus 1978; Vickers 1984). En particular, los historiadores de la química han prestado especial atención al papel desempeñado por el oscurantismo en el desarrollo de la ciencia moderna, o a las disputas entre los seguidores de Aristóteles y los partidarios de Paracelso. Este tipo de investigación es plenamente válido, ya que proporciona interesantes perspectivas de la atmósfera cultural, ayuda a comprender las percepciones del mundo natural en la época, y descubre las implicaciones más amplias de la actividad química. No obstante, a menudo el énfasis en el lado teórico de la disciplina ha llevado a olvidar que la química es, ante todo, una *ciencia aplicada*. Con independencia del estilo abstracto de muchos escritos, las ideas de los químicos del Renacimiento partieron de experimentos en el laboratorio. Por este motivo, creemos que la investigación debería comenzar por averiguar los procesos y observaciones llevados a cabo con diversos compuestos químicos, que constituyen la verdadera base de los discursos escritos después. De este modo podremos llegar a interpretaciones fundadas en hechos reales y bases consistentes.

El problema de los excesos interpretativos es patente, sobre todo, en ámbito de lo que hoy denominamos alquimia. El Renacimiento vió la eclosión de la búsqueda de la piedra filosofal, esa sustancia ideal que, procesada adecuadamente, permitiría transmutar metales vulgares en oro o plata. Los textos escritos por los alquimistas estaban envueltos de secretismo, de modo que sólo los adeptos iniciados pudieran comprenderlos, y llenos de imprecaciones a las deidades. Estos fueron los principales motivos que llevaron a considerar la alquimia como algo mucho más abstracto y teórico que concreto y práctico. Los historiadores de la alquimia desde finales del siglo XVII han tendido a relacionarla con la magia y la astrología, han buscado interpretaciones en clave de psicoanálisis y explicado estas prácticas como una experiencia ascética del alquimista que, tratando de crear oro, intentaba acercarse al supremo creador. Sin embargo, recientemente ha empezado a demostrarse que la mayor parte de estas interpretaciones carece de sustento histórico. En realidad, durante el Renacimiento, las

palabras *chymia* y *alchymia* se empleaban como sinónimos (Halleux 1979: 47-49; Rocke 1985; Newman y Principe 1998). La fabricación de oro o *cryspoeia* era sólo una ocupación más —una particularmente tentadora— entre otros muchos experimentos de los químicos, por lo que no tiene sentido separar la química de la alquimia en nuestras reconstrucciones históricas. Asimismo, se ha venido demostrando que los símbolos y alegorías alquímicos pueden explicarse recurriendo a referentes materiales, principios científicos plenamente válidos y experimentos prácticos (p. ej. Read 1936; Crosland 1962; Halleux 1979, Obrist 1982; Newman 1994; Principe 1987; 2000), sin necesidad de recurrir al subconsciente colectivo o a un supuesto hilozoísmo, con lo cual las tan reputadas y abstractas elucubraciones de Carl Jung (1939; 1980) o Mircea Eliade (1938; 1962) pierden solidez. Además, no hay ninguna prueba histórica que apoye el vínculo entre magia y alquimia en la Europa Moderna, y la devoción religiosa del alquimista no es especial ni diferente de la cualquier otro hombre del Renacimiento (cf. Principe y Newman 2001). En suma, se hace evidente que la historia de la química y de la alquimia debe reconstruirse como una unidad, y partiendo de una base real y documentada: los experimentos y actividades de los químicos.

Por otro lado, otro problema de la historia de la química basada en fuentes escritas es su escasa o nula atención a las actividades metalúrgicas. Una parte fundamental de las actividades de los químicos/alquimistas eran el llamado «ensayo» y el refinado de metales preciosos. Como se detallará más adelante, estos procesos requerían una precisión extrema y la experimentación con diversos compuestos químicos, y de hecho podemos ver aquí el origen de la química analítica moderna. Sin embargo, la mayor parte de los historiadores de la ciencia no han prestado mucha atención al hecho de que estos procesos se llevaban a cabo también en talleres metalúrgicos, si bien con fines distintos (vid. infra). Las herramientas, recipientes, materias primas y técnicas empleados eran exactamente los mismos para químicos y metalúrgicos (cf. Halleux 1986; Rehren 1996; 1997; Newman 2000), aunque sus objetivos últimos fuesen diferentes. Los primeros eran «científicos»; los segundos, «artesanos». Pero ambos hacían lo mismo y, en muchos casos, está claro que los químicos leían tratados metalúrgicos, y que los metalúrgicos sabían de las actividades de los químicos/alquimistas (Rocke 1985; Roberts 1991; Beretta 1997). Por tanto, el flujo de información y las relaciones entre ambos campos no pueden pasarse por alto. Este idea, aunque se ha señalado en diversas ocasiones (p.ej. Hoover y Hoover 1912: 220; Leicester 1956; Lange 1965; Roberts 1991; Beretta 1993; 1997; Rehren 1996; 1997), apenas se ha explorado en la profundidad que requiere.

Finalmente, una fuente de información secundaria para la historia de la química la constituye el corpus de pinturas e ilustraciones representando laboratorios alquímicos y otras escenas relacionadas (p.ej. Read 1947; Holmyard 1968; De Rola 1988). Sin embargo, la validez de estas fuentes es también limitada. Por un lado, las ilustraciones de los tratados son muchas veces adiciones relativamente recientes a manuscritos que se escribieron mucho antes (Forbes 1970; Anderson

1985: 219; 2000: 10). Por otro, el principal objetivo de los pintores renacentistas que representaban a alquimistas era satisfacer las expectativas del comprador, y no representar la realidad. De hecho, la historia del arte revela que la naturaleza de estas pinturas tiende a ser alegórica y moralizadora, cuando no mitológica. Esto, entre otros problemas (cf. Hill 1975; Principe y De Witt 2002), cuestiona severamente la confianza que podemos poner en estas ilustraciones para nuestras reconstrucciones históricas, y pone de manifiesto la necesidad de utilizar enfoques complementarios.

LA CONTRIBUCIÓN DE LA ARQUEOLOGÍA DE LA QUÍMICA

Hemos visto brevemente algunos de los problemas de la historiografía de la química. Expondremos ahora cómo la arqueología puede proporcionar una necesaria contribución para superar esas limitaciones. El estudio de los restos arqueológicos de actividades químicas constituye una estrategia completamente diferente y cuyos resultados vienen a completar los vacíos de la investigación tradicional.

En primer lugar, al partir de los restos materiales, la arqueología se centra en la principal dimensión de la química: la práctica. Desde este punto de partida podemos identificar las actividades llevadas a cabo en el laboratorio e incluso evaluar su relativo éxito, antes de proceder a interpretaciones más genéricas. Merece la pena destacar el hecho de que la química del Renacimiento supuso la aparición del laboratorio como lugar de trabajo, lo cual subraya el cambio de actitud: antes de este momento, «se poseía *scientia*»; a partir de ahora, «se practica ciencia» (Hannaway 1986: 586). Por este motivo, el estudio de estos primeros laboratorios es crucial. Lo que es más, una comprensión cabal de las operaciones llevadas a cabo por los químicos proporcionará las claves para entender sus disertaciones teóricas. En particular, el oscurantismo de las fuentes alquímicas no puede oscurecer los restos materiales de las actividades llevadas a cabo en el laboratorio, lo cual convierte a la arqueología en una estrategia especialmente prometedora en este campo. En este sentido cabe destacar cómo a partir del análisis arqueométrico de los restos de Oberstockstall está siendo posible descifrar ciertos textos de alquimistas que, tras las alegorías, escondían enunciados perfectamente científicos.

Asimismo, la arqueología de la química ignora *a priori* las distinciones entre química, alquimia y metalurgia. Estudiando los restos arqueológicos identificamos actividades químicas con independencia de su adscripción. Sólo una vez que sabemos qué estaba haciendo el artesano, podremos entonces relacionar sus actividades con las direcciones escritas en uno u otro tratado. Estudiando estas actividades en su contexto arqueológico podremos intuir si un artesano dado era químico y/o metalúrgico, o si estaba intentando transmutar metales, pero todo ello en un segundo momento de la investigación y sobre una base más sólida. En este

sentido, una vez que la arqueología de la química se haya expandido, quizás pudiéramos llegar a verificar el virtual impacto de distintas escuelas y prácticas, de acuerdo con la relativa abundancia de evidencias de químicos realizando tales o cuales operaciones en concreto.

De la misma manera, el hecho de que la conservación y descubrimiento de restos arqueológicos tienden a ser arbitrarios, puede ayudar a superar el exceso de importancia otorgado a algunas figuras históricas. «Después de todo, la química no es un asunto de genios encerrados en buhardillas» (Knight 1992: 7), sino una creación progresiva de innumerables manos anónimas. La arqueología no se detiene sólo en los grandes descubrimientos, ni en los autores que escribieron más libros (o cuyos libros se han preservado preferentemente). En lugar de eso, nos permite una observación detallada de un caso particular seleccionado aleatoriamente. De este modo, podemos identificar elecciones particulares y variaciones del «canon» establecido en los libros, así como ensayos y errores. En otras palabras, la inconclusión del registro arqueológico es de una naturaleza diferente a la inconclusión de las fuentes escritas e iconográficas. En consecuencia, ambos enfoques pueden complementarse mutuamente, de modo que la reconstrucción histórica resultante es más rica y diversa.

Las primeras llamadas a la preservación del instrumental químico antiguo (Moorhouse 1972; Anderson 1985; Stock 1986) lo hacían desde un punto de vista un tanto orientado a la simple colección de antigüedades. Más recientemente, Anderson (2000) ha expuesto la necesidad de investigación arqueológica en este campo. En su trabajo, este autor plantea algunas de las limitaciones de las fuentes tradicionales y presenta los restos conservados de alambiques como ejemplo de restos arqueológicos estudiables, aunque no se detiene a explorar las razones que hacen a la arqueología tan prometedora. En una línea similar debe destacarse el trabajo de catalogación llevado a cabo por Thomas (1998). En palabras de Holmes y Levere (2000: 1), «si queremos obtener una comprensión detallada de la experimentación alquímica y de otros precursores de la química en los comienzos de la época moderna, tales como el ensayo o la destilación herbal, necesitamos (dentro de lo posible), suplementar el registro escrito e iconográfico con el conocimiento directo de los aparatos». Por último, Rehren (1996; 1997; 1998; 2001) ha presentado sus estudios analíticos en restos arqueológicos de análisis químicos y, junto con su interpretación, ha empezado a sugerir el gran potencial de un estudio arqueológico de este tipo de materiales y la variedad de cuestiones que sólo esta estrategia puede resolver.

RESTOS ARQUEOLÓGICOS DE EXPERIMENTOS QUÍMICOS

Llegados a este punto, creemos que hemos argumentado convenientemente la contribución que la arqueología de la química puede hacer a la historia de la ciencia. En lo que resta de artículo saldrán a relucir muestras efectivas de ello, pero

nuestro objetivo es ahora otro. A continuación caracterizaremos algunos restos arqueológicos de actividades químicas y explicaremos brevemente sus características técnicas, funciones y potencial informativo, además de las claves para identificarlos. En concreto, nos centraremos en los restos asociados a un tipo de actividad común a químicos y metalúrgicos: el ensayo. De este modo ilustraremos la interconexión entre metalurgia y química/alquimia. Asimismo, nuestra intención es que, a la vista de estas directrices, restos arqueológicos similares puedan salir a la luz. Dado el creciente número de excavaciones llevadas a cabo en contextos urbanos y rurales poblados desde hace siglos, sospechamos que si no se han publicado más restos de laboratorios químicos es porque quizás no se hayan identificado como tales.

Aunque tomaremos datos de los escasos estudios publicados de restos arqueológicos de este tipo (vid. *infra*), la mayor parte de los ejemplos serán tomados de nuestra investigación en curso sobre los hallazgos de Oberstockstall (Austria), el laboratorio renacentista más completo recuperado hasta el momento. Allí, bajo el suelo de una estancia anexa a una capilla, la excavación descubrió cientos de fragmentos de retortas, alambiques, copelas, escorificadores, crisoles y otros utensilios, los restos de un laboratorio muy bien equipado y que fue utilizado durante la segunda mitad del siglo XVI (Soukup y Mayer 1996; Von Osten 1998).

El ensayo

Como ya señalamos antes, el ensayo puede considerarse el germen de la química analítica moderna. En breve, ésta es la operación por la cual se averigua el metal o metales que contiene una mena, y la proporción en que cada uno está con el peso de ella (cf. Rehren 1997; 2001; Newman 2000). Normalmente, el proceso consiste en fundir a pequeña escala un mineral para extraer y determinar su contenido en metales nobles. Comparando el peso de la muestra inicial con el del producto final, se averigua la riqueza en oro y plata del mineral analizado. Adicionalmente, ésta operación podría realizarse también para analizar metales (en lugar de minerales), por ejemplo para determinar la ley de una moneda, o para extraer los metales nobles de una aleación y reciclarlos con otros fines. Como sugerimos más arriba, el metalurgista realizaría ensayos para evaluar la viabilidad de una explotación a gran escala, dependiendo de la riqueza del depósito analizado; el químico, por su parte, lo haría para descubrir las propiedades del material investigado; quizás algún alquimista realizaría ensayos en la creencia de estar creando pequeñas partículas de metales nobles, ignorando que estos estaban desde el principio incluídos en la mena; finalmente, también se llevarían a cabo procesos similares para refinar los metales nobles, separándolos de los metales básicos contenidos en una aleación, por ejemplo en joyería o para acuñar moneda de una determinada ley.

En todo caso, el ensayo requería una precisión máxima, la selección de una muestra representativa del total, la observación y registro de las metodologías

empleadas, la experimentación con diversos compuestos, y la necesidad de asegurar que los resultados podrían replicarse. Muy probablemente fue llevando a cabo ensayos cuando se descubrieron los nuevos metales (zinc, cobalto, bismuto), que vinieron a contradecir la tradicional concepción de *los siete planetas únicos* interaccionando con *los siete metales existentes* (Leicester 1956: 94). Asimismo, fue el progreso en la experimentación con minerales lo que llevó a cuestionar la visión aristotélica del mundo como una materia uniforme que se manifestaba en forma de cuatro simple elementos (Roberts 1991: 150). En suma, la importancia del ensayo para el posterior desarrollo de la ciencia moderna fue vital. Por este motivo, la arqueología debe saber identificar los restos de estas actividades para que puedan ser documentados y analizados adecuadamente. A continuación presentaremos los principales recipientes empleados para el ensayo: escorificadores, crisoles y copelas.

Escorificadores

El escorificador es uno de los utensilios empleados por los químicos que más fácilmente pudiera pasar desapercibido al arqueólogo. En apariencia no es más que un plato de cerámica de pequeño tamaño (Fig. 1), por lo que sólo puede distinguirse con seguridad si atendemos a los indicios de uso. En el escorificador, el especialista llevaba a cabo una fundición preliminar del mineral en fuego oxidante, en ocasiones añadiendo plomo y/o fundentes que facilitasen la reacción. Mediante este proceso se separa la ganga —materia inútil— y, si el mineral es sulfuroso, se elimina el exceso de azufre. Repitiendo el proceso si es necesario, los metales básicos de la muestra inicial se oxidan con parte del plomo, también oxidado, y pasan a formar parte de la escoria; al tiempo, una parte del plomo fundido recoge el oro y la plata presentes y que, por ser metales nobles, no reaccionan con el oxígeno. De este modo, en el centro del plato se forma un *regulus* de plomo mezclado con metales nobles (si es que existían en la muestra analizada), que ya se ha liberado de ganga y otros metales (Bayley y Barclay 1990; Bayley 1991b; Rehren 1996; 2001).

Un escorificador ideal debería fabricarse en una arcilla calcárea, ya que el óxido cálcico resiste mejor la corrosión por óxido de plomo que la cerámica común, ésta rica en sílice. Asimismo, la pasta debería contener abundantes inclusiones, preferiblemente inorgánicas y de tipo anguloso (p. ej. cuarzo o mica), que tienen coeficientes de dilatación y contracción distintos a la cerámica, y dificultan la propagación de las fracturas ocasionadas por los contrastes térmicos (Freestone 1989; Bayley et al. 1991; Kilikoglou et al. 1998; Tite et al. 2001) (Fig. 2). Sin embargo, algunos escorificadores (Rehren 1996) revelan que la escorificación podía también llevarse a cabo en platos de cerámica común, sin ningún tipo de preparación especial. Quizás sería más rentable reemplazar el escorificador una vez que quebrase en lugar de adquirir material especializado. En otros casos, podemos constatar el uso de grafito como desgrasante, lo cual no sólo mejoraría el

rendimiento mecánico de la pasta, sino que además la haría más resistente a las altas temperaturas. Por su parte, Bayley y Barclay (1990) han estudiado restos de escorificadores en los que se habían empleado principalmente desgrasantes orgánicos, que obviamente desaparecieron por efecto del fuego y dejaron una pasta muy porosa. En suma, podemos concluir que el tipo de pasta cerámica no es un criterio útil para identificar un escorificador, aun cuando siempre interesará examinar estas pastas para estudiar sus características técnicas y los restos de uso.

En cuanto a los indicios de uso, es común que una escoria densa y de forma circular aparezca adherida a los escorificadores, rodeando una concavidad central (Fig. 3). Esa concavidad es la dejada por el *regulus* de plomo y metales nobles, que habría sido recogido por el químico para el posterior procesado. La escoria circundante tiende a ser muy rica en óxido plumboso y a contener el resto de las impurezas del mineral original. En cualquier caso, la característica forma de esta escoria permite identificar el escorificador como producto de un ensayo sin apenas sombra de duda y sin necesidad de recurrir a análisis. Aun así es recomendable, siempre que sea posible, realizar análisis mineralógicos y químicos de los restos, lo cual permitirá caracterizar mejor los instrumentos y materias primas empleados, así como los procesos llevados a cabo.

Sin embargo, los restos arqueológicos no son siempre tan diagnósticos, y a veces los escorificadores no muestran evidencias de uso tan explícitas. En algunos casos, el mineral analizado sería fundido sólo someramente en el escorificador, para librarlo de ganga y mayores impurezas, pero aún necesitaría un procesado posterior en otro escorificador o un crisol para obtener el *regulus*. De ser así, si el mineral original contenía plomo (o si el químico añadió una pequeña cantidad de éste para facilitar la reacción), es común que el escorificador aparezca recubierto por un esmalte brillante y de color variable, más o menos uniforme, formado por la reacción del óxido plumboso con el sílice de la cerámica. Si en la reacción no intervino el plomo como elemento principal, entonces el escorificador apenas presentará indicios de uso o, como mucho, una superficie más o menos chamuscada resultante de un fuego irregular (Fig. 1).

Cuando esto sucede, es especialmente importante que se atienda al contexto arqueológico de los hallazgos, que muchas veces proporcionará las claves para interpretar los artefactos dudosos. Aunque un escorificador no sea a primera vista diagnóstico de actividades químicas, los materiales asociados a él sí pueden proporcionar pistas más claras y poner al arqueólogo en alerta. En el caso de hallazgos aislados o si el contexto arqueológico no permite una adscripción clara de los artefactos, entonces se hace necesario el análisis científico.

La forma más sencilla y menos agresiva de analizar los restos de uso en un plato de este tipo es la espectrometría de fluorescencia de rayos X por energías dispersivas (FRX-ED). Sin necesidad de extraer una muestra, el artefacto completo puede situarse dentro de la cámara del espectrómetro, que nos proporcionará

datos semicuantitativos de los elementos químicos contaminando la superficie interna del mismo. De esta forma podremos intuir su función original.

La figura 3 muestra un escorificador con la característica escoria circular rodeando el hueco dejado por el *regulus*. El análisis por FRX-ED de la escoria adherida al plato permitió verificar nuestra hipótesis original, al revelar una elevada concentración de óxido plumboso y unas trazas infinitesimales de oro y plata. En la figura 1 tenemos otros escorificadores, varios de ellos sin apenas marcas de uso. No obstante, el análisis permitió comprobar que todos ellos habían sido empleados en diversos procesos de ensayo.

Crisoles

El crisol es posiblemente uno de los utensilios empleados por químicos y metalúrgicos más fáciles de identificar en contextos arqueológicos, aun cuando determinar su posible uso no es siempre sencillo. En sí mismo, el crisol no es más que un recipiente empleado para procesar sustancias a altas temperaturas. Debe tenerse en cuenta que la expresión «altas temperaturas» es siempre relativa al contexto histórico del hallazgo, y una temperatura «alta» sería aquella que excede los rangos habituales empleados en una hoguera doméstica (Freestone 1989). Así, lo que caracteriza a un crisol no es su forma ni su composición, sino su empleo. Como resultado, el grado de vitrificación de las pastas cerámicas de los crisoles tiende a ser muy alto. En un crisol se realizan normalmente dos actividades metalúrgicas básicas: la fundición (reducción de un metal a partir de un mineral) y la fusión (simple licuefacción de un metal, de estado sólido a estado líquido). Aunque este tema no vaya a tratarse aquí, debe tenerse en cuenta que los crisoles eran empleados también para actividades no metalúrgicas que requiriesen altas temperaturas, como la fabricación de vidrio.

En un laboratorio químico del Renacimiento, el crisol es el utensilio más abundante y más versátil. Desde finales de la Edad Media, se generalizan los crisoles de base plana y borde triangular, de morfología muy estandarizada y tamaño bastante pequeño (en altura no suelen superar los 15 cm). Su forma se obtiene a partir de un crisol troncocónico cuyos bordes son plegados hacia adentro, de manera que la boca adquiere una forma triangular (Fig. 4). Con esta forma resultaría más fácil cogerlos con pinzas cuando estaban calientes, y verter el contenido por cualquiera de los tres picos. Asimismo, su calidad técnica es cada vez mejor, y en Europa Central aparecen centros productores especializados que exportarán masivamente a diversos puntos del continente (Cotter 1992).

Los crisoles deben, en principio, cumplir varios requisitos. Fundamentalmente, deben ser refractarios (soportar altas temperaturas sin sufrir alteraciones físicas o químicas catastróficas), poseer resistencia al impacto térmico (aguantar contrastes térmicos sin quebrarse), y resistencia a la corrosión generada por óxidos metálicos y cenizas.

En general, la pasta cerámica de un crisol será más refractaria cuanto más alto sea su contenido en óxidos de aluminio y titanio, y más bajas las concentraciones de otros óxidos metálicos, sobre todo de hierro. Los químicos, aun sin saber esto, podrían seleccionar las pastas más adecuadas a base de ensayo y error, y también por el color, ya que las pastas pobres en óxido ferroso tienden a mostrar colores más blanquecinos o grisáceos (en lugar de rojizos). Asimismo, en Oberstockstall documentamos el uso de grafito como desgrasante también para crisoles (Fig. 5), lo cual contribuiría significativamente a hacerlos más refractarios. Como indicamos antes al respecto de los escorificadores, para soportar la dilatación y los contrastes térmicos es favorable la abundancia de inclusiones no plásticas. Finalmente, la corrosión de los crisoles sería difícil de combatir. No obstante, sería preferible un crisol con el acabado de la superficie relativamente liso, pues esto dificulta que se queden pequeñas partículas de escoria corrosiva y de metal atrapadas en el recipiente (Bayley et al. 1991).

A comienzos del siglo XII, el monje Teófilo (eds. Hawthorne y Smith 1979) recomendaba ya la fabricación de crisoles con una pasta formada por tres partes de arcilla blanca mezclada con chamota. Por su color, podemos asumir que la pasta sería pobre en óxido de hierro y, por tanto, más refractaria. Por su parte, la chamota o *grog* es el tipo de desgrasante obtenido por el simple proceso de machacar viejas cerámicas ya cocidas y usadas, y que se han descartado por haberse fracturado. Este material reciclado es muy adecuado para el funcionamiento de los crisoles, ya que incrementa su resistencia a los contrastes térmicos y a la corrosión (Freestone y Tite 1986). El empleo de chamota en la fabricación de crisoles sería de nuevo preconizado por Georgius Agricola (eds. Hoover y Hoover 1950) y Lazarus Ercker (eds. Sisco y Smith 1951) en el siglo XVI, entre otros autores, y puede identificarse también en el análisis microscópico de las pastas de algunos crisoles recuperados en yacimientos arqueológicos. Documentar esta práctica es interesante no sólo por la ventaja técnica que supone, sino también porque, en la medida en que viejos crisoles se reciclasen para fabricar chamota, éstos aparecerán infrarrepresentados en el registro arqueológico.

En cualquier caso, éstas características óptimas no se dan en todos los crisoles ni son exclusivas de ellos. Por ejemplo, una olla para cocinar podría fabricarse en arcilla muy refractaria simplemente porque era la materia prima disponible en la zona, o porque su color era más estético. Y, al contrario, hay numerosos ejemplos de crisoles que no se ajustan a esos requisitos técnicos y sin embargo sirvieron, en mayor o menor medida, para su función original. Sin embargo, es importante atender a estos factores cuando analizamos crisoles procedentes de contextos arqueológicos, ya que pueden ayudar a evaluar el grado de especialización y conocimientos técnicos de las personas que los emplearon.

Además de para fundir cualquier sustancia, el crisol podría emplearse para el ensayo. Por su forma (y en ocasiones con ayuda de tapas, cf. Von Osten 1998), estos crisoles facilitarían una atmósfera reductora para la fundición de minerales oxidados (Bayley y Eckstein 1997). Sin embargo, también podrían utilizarse con

minerales sulfurados, como parecen indicar los resultados preliminares sobre algunos de los crisoles de Oberstockstall. En este último caso, quizás el crisol se utilizaría para una fundición somera del mineral, para librarlo de las principales impurezas en una primera escoria. A continuación, el material resultante se procesaría en un escorificador, añadiendo plomo, para favorecer la extracción de los metales nobles.

Finalmente, en Oberstockstall encontramos también pequeñísimos crisoles triangulares de paredes muy finas y acabado muy liso, y con tan sólo unos tres cm³ de capacidad, de pasta muy blanca y con escasos indicios aparentes de haber sido usados (Fig. 6). El análisis químico de las pastas reveló que estos crisoles son de los más refractarios de los empleados en todo el laboratorio. Asimismo, en el análisis por FRX-ED de la superficie interna de algunos de ellos se detectaron restos significativos de oro. Estos resultados parecen indicar que las arcillas técnicamente mejores se reservarían para estos pequeños crisoles en los que se procesaban cantidades muy reducidas de este metal.

Copelas

La copelación es la operación que permitiría el refinado final de los metales nobles. Al igual que los procesos descritos más arriba, su fundamento es la oxidación de los metales innobles aleados con el oro y la plata, para separar y extraer estos últimos. La copelación es una técnica de ensayo que existe desde la Antigüedad. Sin embargo, a partir de la Edad Media Tardía, la operación aparece perfeccionada hasta el extremo por el empleo de unos recipientes muy característicos que, además, permitirán identificar sin lugar a dudas esta operación en contextos arqueológicos: las copelas (Bayley 1991b; Bayley y Eckstein 1997; Rehren 1997; 1998; 2001).

La copelas son vasos troncocónicos prácticamente macizos, con tan sólo una pequeña concavidad en su parte superior. Normalmente tienen unos tres centímetros de diámetro, y una tipología muy estandarizada ya que se fabricaban a molde (Fig. 7), aunque en algunos casos presentan mayores tamaños (Fig. 8). La mayor peculiaridad de estos instrumentos es el material en que se fabricaban, que sería a su vez lo que los haría tan aptos para su función: las cenizas de huesos calcinados.

En la copelación, el *regulus* obtenido anteriormente, u otro pequeño fragmento de metal, se pone sobre la copela, normalmente con una cantidad adicional de plomo. A continuación se dirige una llama intensa sobre la carga. El fuego directo provoca la oxidación del plomo junto con todos los metales no nobles de la muestra, los cuales son absorbidos por la copela de cenizas. Finalmente, en la superficie de la copela se forma un pequeño «botón» metálico con la plata y el oro contenidos en la muestra inicial. Estos metales no son absorbidos por la copela ya que, aun en estado líquido, tienen una tensión superficial muy alta, por lo cual no se filtran a través de las cenizas.

La ceniza de hueso es especialmente indicada para la fabricación de copelas porque, por su microestructura, facilita la absorción por capilaridad de los metales no nobles. Asimismo, al estar formada sobre todo por óxido cálcico, no reacciona con el óxido de plomo. Esta es una ventaja fundamental de este material sobre la cerámica. En una copela fabricada con arcilla, el óxido plumboso reaccionaría con el sílice de la pasta formando un esmalte denso que obstruiría la absorción de los óxidos metálicos (tal como sucede en algunos escorificadores de pastas silíceas), o incluso provocando fracturas. En las copelas de hueso, en cambio, todos los elementos que no interesan se filtran, de manera que el botón formado por los metales preciosos queda perfectamente separado y refinado en su superficie.

La gran mayoría de las copelas recuperadas en yacimientos arqueológicos se han conservado porque el óxido plumboso absorbido por las copelas les da consistencia y estabilidad ante procesos postdeposicionales, mientras que la conservación de copelas sin usar sólo ocurre en casos excepcionales. De este modo, las copelas suelen distinguirse por su forma maciza y por su elevado peso relativo al tamaño. En cambio su material original, la ceniza de hueso, puede no resultar evidente, precisamente por esa impregnación con óxidos metálicos.

En el análisis de copelas por FRX-ED, normalmente detectaremos altas concentraciones de óxido plumboso, junto con óxido cálcico de las cenizas de hueso. Es posible encontrar también trazas de oro y/o plata, aunque esto no siempre ocurra ya que, si la operación se realizó con éxito, todos los metales nobles de la muestra se habrán extraído sin desperdiciar nada. En todo caso, es muy difícil determinar cuál sería la muestra original antes de la copelación (p. ej. una particular mena que se quisiera analizar, un metal reciclado...). Para este fin resulta mucho más informativo el análisis de las escorias producidas en los pasos anteriores, en escorificadores o crisoles, ya que en ellas encontraremos prácticamente todos los restos de la carga inicial (excepto los metales nobles) y los fundentes empleados, (Rehren 2001: 69).

Otros restos de operaciones químicas

Por diversos motivos aducidos antes, este artículo se ha centrado en la práctica del ensayo como actividad química identificable en contextos arqueológicos. No obstante, no nos gustaría terminar sin subrayar que, evidentemente, el químico renacentista disponía de una gama de posibilidades mucho más amplia y, por tanto, la variedad de utensilios y actividades que podríamos documentar es mucho mayor.

Una práctica que no podemos dejar de mencionar, aun cuando no entraremos a analizarla aquí, es la destilación. La destilación consiste en separar una sustancia volátil de otras más fijas, utilizando para ello el calor, y enfriando luego su vapor para reducirla nuevamente a líquido, una vez separada. Como tal, existe desde la Antigüedad, y a lo largo de la Edad Media y el Renacimiento las técnicas se perfeccionarán y diversificarán significativamente. Al permitir la extracción de

«esencias», la destilación cumplirá un papel fundamental en la producción de nuevos medicamentos y en los intentos de fabricación de la piedra filosofal. Los alambiques, matraces y otros recipientes vinculados a la destilación son los únicos restos de actividades químicas que se han estudiado en bastante detalle, tanto a partir de fuentes escritas como de materiales arqueológicos (Moorhouse 1972; Soukup y Mayer 1996; Thomas 1998; Von Osten 1998; Anderson 2000). Sin embargo, aunque las técnicas de destilación están bien documentadas, sabemos mucho menos acerca de cuáles eran los productos destilados en cada caso. Esto se debe, en primer lugar, a la escasez de análisis centrados en la identificación de restos minerales y vegetales en restos arqueológicos de destilación; y, en segundo lugar, al hecho de que, a medida que se generaliza el empleo de aparatos de vidrio para estos fines, nuestras posibilidades de análisis se limitan. La estructura del vidrio dificulta la conservación de microrrestos atrapados, de modo que las posibilidades de éxito de los estudios arqueométricos en este campo son más reducidas.

Otra actividad frecuente en laboratorios químicos, y también relacionada con el ensayo, sería la separación de oro y plata o «partición». Por medio de los procesos de ensayo descritos antes, el químico obtenía un «botón» formado por los metales nobles, ya liberados de la ganga y otros metales contenidos en la muestra inicial. Sin embargo, en muchos casos interesaría separar el oro de la plata, ambos aleados en ese botón, ya fuese para determinar la proporción entre uno y otro y relacionarla con el depósito analizado, o bien porque podría interesar procesar uno de los dos metales por separado. Para este fin existían varios métodos desde la Antigüedad (cf. Hoover y Hoover 1950: 458, nota 21). Tal como documenta la arqueología, el más común era la cimentación, por la cual se procesaban el oro y la plata con sal y polvo de ladrillo (el «cemento») en un recipiente cerrado, de modo que se forma cloruro de plata y el oro queda refinado (Bayley 1991a; 1991b). Desde el siglo XIV también es frecuente la partición mediante antimonita (sulfuro de antimonio obtenido naturalmente), que sulfuriza la plata y así deja el oro separado (Rehren 1996). No obstante, en operaciones a pequeña escala como el ensayo, y particularmente desde el Renacimiento, es más común el empleo de ácidos minerales que disuelven la plata (Rehren 2001). La posibilidad de identificar estos ácidos mediante análisis arqueométricos es también limitada.

CONCLUSIÓN

Este artículo ha explorado la intersección entre química, alquimia y metalurgia, y tratado de explicar cómo la arqueología puede contribuir a explotar este campo que, tradicionalmente, no se ha investigado debidamente. El ensayo es el germen de la química analítica moderna. En su estudio está la clave para acercarnos a las formas de entender el mundo natural imperantes en el pasado, y a los intentos por

entenderla, dominarla y transformarla. Asimismo, el análisis arqueométrico de restos de ensayos arroja luz sobre el desarrollo histórico de cerámicas técnicas y experimentos químicos especializados, ámbitos que raras veces aparecen detallados en las fuentes escritas.

Los profesionales de la arqueología deben reconocer este tipo de restos para que su potencial informativo pueda explotarse. Asimismo, debe fomentarse el análisis científico de los mismos, aun cuando esto requiera, en ocasiones, la extracción invasiva de muestras: siempre que la investigación se conduzca adecuadamente, los conocimientos obtenidos compensarán el daño mínimo que se pueda causar en los artefactos (cf. Tite 2002). En este sentido, es importante que los arqueólogos de campo sean extremadamente cuidadosos en la excavación y limpieza inicial de las piezas, para evitar que se elimine información irrecuperable. También conviene prestar atención a la recogida de muestras de suelo, rocas y minerales en el yacimiento, ya que puede tratarse de los restos de las materias primas empleadas en las operaciones químicas.

En todo caso, debemos insistir también en la necesidad de estudiar los restos de actividades químicas —como cualquier otro tipo de restos— en su contexto arqueológico más amplio, y sirviéndonos de las fuentes escritas contemporáneas. La química del Renacimiento era una actividad más de la vida cotidiana de un determinado sector social, con importantes vínculos con la intelectualidad y la ciencia de su tiempo, e incluso con las esferas institucionales, tanto políticas como religiosas. Asimismo, proporciona un campo para estudiar las relaciones entre estos profesionales, los distintos proveedores de aparatos y materias primas, y los eventuales clientes y patrocinadores de los químicos. Aunque la investigación parta de los restos materiales, los resultados deben integrarse siempre en su marco histórico.

Cada vez se pone más de relieve el provecho de combinar la información obtenida en fuentes escritas con los datos surgidos por la arqueología (cf. Oser y Fagan 1995; Andrén 1998; Moreland 2001), particularmente cuando los restos arqueológicos se investigan con métodos arqueométricos (cf. Rehren y Martín-Torres e.p.). La arqueología de períodos históricos no sirve sólo para ilustrar lo que ya documentan las fuentes escritas. Al contrario, textos y materiales ofrecen información complementaria. Si bien ambas fuentes de información son valiosas en sí mismas, su combinación lo es mucho más. La arqueología de la química viene a demostrarlo una vez más.

BIBLIOGRAFÍA

- ANDERSON, R. G. W. (1985): «Instruments and apparatus». In: RUSSELL, C. A. (ed), *Recent Developments in the History of Chemistry*. London, The Royal Society of Chemistry, pp. 217-237.
- ANDERSON, R. G. W. (2000): «The archaeology of chemistry». In: HOLMES, F. L., y LEVERE, T. H. (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*. Cambridge (Mass.) and London: MIT Press, pp. 5-34.
- ANDRÉN, A. (1998): *Between artifacts and texts: historical archaeology in global perspective*. New York, London, Plenum Press.
- BAYLEY, J. (1991a): «Archaeological evidence for parting». In: PERNICKA, E., y WAGNER, G. A. (eds.), *Archaeometry '90*. Basel, Boston, Berlin, Birkhäuser Verlag, pp. 19-28.
- BAYLEY, J. (1991b): «Processes in precious metal working». In: BUDD, P., CHAPMAN, B., JACKSON, C., JANAWAY, R., y OTTAWAY, B. (eds.), *Archaeological Sciences 1989. Proceedings of a conference on the application of scientific techniques to archaeology, Bradford, September 1989*. Oxford, Oxbow, pp. 125-131.
- BAYLEY, J., y BARCLAY, K. (1990): «The crucibles, heating trays, parting sherds, and related material». In: BIDDLE, M. (ed.), *Object and Economy in Medieval Winchester*. Oxford: Oxford University Press, Col. Winchester Studies, 7/2/1, pp. 175-197.
- BAYLEY, J., y ECKSTEIN, K. (1997): «Silver Refining – Production, Recycling, Assaying». In: SINCLAIR, A., SLATER, E. y GOWLETT, J. (eds.), *Archaeological Sciences 1995. Proceedings of a conference on the application of scientific techniques to the study of archaeology (Liverpool, July 1995)*. Oxford, Oxbow, Col. Oxbow Monographs, 64, pp. 107-111.
- BERETTA, M. (1993): *The Enlightenment of Matter: The Definition of Chemistry from Agricola to Lavoisier*. Canton (Mass.), Science History Publications, Uppsala studies in history of science, 15.
- BERETTA, M. (1997): «Humanism and chemistry: the spread of Georgius Agricola's metallurgical writings», *Nuncius. Annali di Storia della Scienza*, XII(1), pp. 17-47.
- BUTTERFIELD, H. (1950): *The Origins of Modern Science: 1300-1800*. London, Bell.
- COTTER, J. P. (1992): «'The Mystery of the Hessian Wares': Post-medieval triangular crucibles». In: GAIMSTER, D., y REDKNAP, M. (eds.), *Everyday and Exotic Pottery from Europe c. 650-1900. Studies in honour of John G. Hurst*. Oxford, Oxbow Books, pp. 256-272.
- CROSLAND, M. P. (1962): *Historical Studies in the Language of Chemistry*. London, Melbourne, Toronto, Heinemann Educational Books Ltd.
- DE ROLA, S. K. (1988): *The Golden Game. Alchemical Engravings of the Seventeenth Century*. London: Thames and Hudson.
- DEBUS, A. G. (1978): *Man and Nature in the Renaissance*. Cambridge, London, New York, Melbourne, Cambridge University Press, Cambridge History of Science Series.
- ELIADE, M. (1938): «Metallurgy, Magic and Alchemy». In: ELIADE, M. (ed.), *Cahiers de Zalmoxis*, vol. 1. Paris, Librairie Orientaliste Paul Geuthner.
- ELIADE, M. (1962): *The Forge and the Crucible: the origins and structures of alchemy*. Chicago, Chicago University Press.

- FARBER, E. (ed.) (1961): *Great Chemists*. New York, Interscience Publishers.
- FORBES, R. J. (1970): *A Short History of the Art of Distillation* (1ª ed. 1948). Leiden, E. J. Brill.
- FREESTONE, I. C., y TITE, M. S. (1986): «Refractories in the Ancient and Preindustrial World». In: KINGERY, W. D. (ed.), *High-Technology Ceramics: Past, Present and Future*. Westerville (OH), The American Ceramic Society, Col. Ceramics and Civilization, 3, pp. 35-63.
- FREESTONE, I. C. (1989): «Refractory Materials and Their Procurement». In: HAUPTMANN, A., PERNICKA, E., y WAGNER, G. A. (eds.), *Old World Archaeometallurgy, Proceedings of the International Symposium, Heiderberg 1987*. Bochum, Selbstverlag des Deutschen Bergbau-Museums, pp.155-162.
- HALLEUX, R. (1979): *Les textes alchimiques*. Turnhout (Belgium), Brepols.
- HALLEUX, R. (1986): «L'alchimiste et l'essayeur». In: MEINEL, Ch. (ed.), *Die Alchemie in der europäischen Kultur- und Wissenschaftsgeschichte*. Wiesbaden, Herzog August Bibliothek in Kommission bei Otto Harrasowitz, pp. 277-292.
- HANNAWAY, O. (1975): *The Chemists and the Word. The Didactic Origins of Chemistry*. Baltimore and London, The John Hopkins University Press.
- HANNAWAY, O. (1986): «Laboratory Design and the Aim of Science. Andreas Libavius versus Tycho Brahe», *Isis*, 77, pp. 585-610.
- HAWTHORNE, J. G., y SMITH, C. S. (eds.) (1979): *Theophilus: On Divers Arts. The Foremost Medieval Treatise on Painting, Glassmaking and Metalwork*. (rev. edn.; 1ª edn., 1963, Chicago, University of Chicago Press). New York, Dover Publications Inc.
- HILL, C. R. (1975): «The iconography of the laboratory», *Ambix*, 22(2), pp: 102-110.
- HOLMES, F. L., y LEVERE, T. H. (2000): «The Practice of Alchemy». In: HOLMES, F. L., y LEVERE, T. H. (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*. Cambridge (Mass.) and London, MIT Press, pp. 1-3.
- HOLMYARD, E. J. (1968): *Alchemy*. Harmondsworth: Penguin.
- HOOVER, H., y HOOVER, L. (eds.) (1950): *Georgius Agricola. De Re Metallica. Translated from the first Latin edition 1556* (1ª edn. in English 1912). London, Dover Publications Inc.
- JUNG, C. G. (1939): «The Idea of Redemption in Alchemy». In: Stanley, D. (ed.), *The Integration of the Personality*. New York, Farrar & Rinehart, pp. 205-280.
- JUNG, C. G. (1980): *Psychology and Alchemy* (1ª ed. en alemán, Zurich 1944). London, Routledge and Kegan Paul.
- KILIKOGLU, V., VEKINIS, G., MANIATIS, Y., y DAY, P. M. (1998): «Mechanical performance of quartz-tempered ceramics. Part 1: strength and toughness», *Archaeometry*, 40, 261-279.
- KNIGHT, D. (1992): *Ideas in Chemistry. A History of the Science*. London, The Athlone Press.
- LANGE, E. F. (1965): «Alchemy and the Sixteenth Century Metallurgists», *Ambix*, 13, pp. 92-95.
- LEICESTER, H. M. (1956): *The historical background of chemistry*. London, Chapman & Hall Ltd.
- LEVERE, T. H. (1994): *Chemists and Chemistry in Nature and Society 1770-1878*. Hampshire, Aldershot, Collected Studies Series 439.
- MOORHOUSE, S. (1972): «Medieval distilling-apparatus of glass and pottery», *Medieval Ceramics*, 1/XVI, pp. 79-121.
- MORELAND, J. (2001): *Archaeology and Text*. London, Duckworth.

- NEWMAN, W. R. (1994): *Gehennical Fire: The Lives of George Starkey, and American Alchemist in the Scientific Revolution*. Cambridge (Mass.), Harvard University Press.
- NEWMAN, W. R. (2000): «Alchemy, Assaying, and Experiment». In: HOLMES, F. L., y LEVERE, T. H. (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*. Cambridge (Mass.) and London: MIT Press, pp. 35-54.
- NEWMAN, W. R., y PRINCIPE, L. M. (1998): «Alchemy vs. Chemistry: The Etymological Origins of a Historiographic Mistake», *Early Science and Medicine*, 3, pp. 32-65.
- OBRIST, B. (1982): *Les débuts de l'imagerie alchimique (XIVe-Xve siècles)*. Paris, Le Sycamore.
- OSER, Ch. E. Jr., y FAGAN, B. M. (1995): *Historical Archaeology*. New York, Harper Collins College Publishers.
- PARTINGTON, J. R. (1960): *A Short History of Chemistry* (3^a ed.; 1^a ed. 1937). London, MacMillan & Co Ltd.
- PARTINGTON, J. R. (1962-70): *A History of Chemistry*, 4 vols. London, MacMillan.
- PRINCIPE, L. M. (1987): «'Chemical Translation' and the role of impurities in alchemy: Examples from Basil Valentine's Triumph-Wagen», *Ambix*, 34, pp. 21-30.
- PRINCIPE, L. M. (2000): «Apparatus and Reproducibility in Alchemy». In: HOLMES, F. L., y LEVERE, T. H. (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*. Cambridge (Mass.) and London, MIT Press, pp. 55-74.
- PRINCIPE, L. M., y NEWMAN, W. R. (2001): «Some problems with the historiography of alchemy». In: NEWMAN, W. R., y GRAFTON, A. (eds.), *Secrets of Nature: Astrology and Alchemy in Early Modern Europe*. Cambridge (Mass.) and London, MIT Press, pp. 385-431.
- PRINCIPE, L. M., y DE WITT, L. (2002): *Transmutations: Alchemy in Art. Selected Works from the Eddleman and Fisher Collections at the Chemical Heritage Foundation*. Philadelphia, Chemical Heritage Foundation.
- READ, J. (1936): *Prelude to Chemistry. An Outline of Alchemy, its Literature and Relationships*. London, G. Bell and Sons Ltd.
- READ, J. (1947): *The Alchemist in Life, Literature and Art*. New York, T. Nelson.
- REHREN, Th. (1996): «Alchemy and Fire Assay – An Analytical Approach», *Historical Metallurgy*, 30(2), pp. 136-142.
- REHREN, Th. (1997): «Metal Analysis in the Middle Ages». In: DE BOE, G. y VERHAEGHE, F. (eds.), *Material Culture in Medieval Europe: Papers of the 'Medieval Europe Brugge 1997' Conference*, Vol. 7. Zellik, Instituut voor het Archeologisch Patrimonium, pp. 9-15.
- REHREN, Th. (1998): «Kontext und Analyse der Aschkupellen von Oberstockstall». In: VON OSTEN, S., *Das Alchemistenlaboratorium von Oberstockstall*. Innsbruck, Universitätsverlag Wagner, Col. Monographien zur Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie, 6, pp. 333-248.
- REHREN, Th. (2001): «Ores, crucibles and cupels: past and present possibilities of scientific analysis», *Cahiers d'archéologie du CELAT*, 10 (Série archéométrie, 1), Quebec, pp. 65-71.
- REHREN, Th., y MARTINÓN-TORRES, M. (eds.) (e.p.): *Text and Archaeology: Contrasting Complementary Evidence*. London, Institute of Archaeology, University College London (en preparación).

- ROBERTS, G. K. (1991): «Science from the Earth in Central Europe». In: GOODMAN, D., y RUSSELL, C. A. (eds.), *The Rise of Scientific Europe*. Sevenoaks (Kent), Hodder and Stoughton Ltd, pp. 145-170.
- ROCKE, A. J. (1985): «Agricola, Paracelsus, and 'Chymia'», *Ambix*, 32, pp. 38-45.
- ROSSI, P. (1970): *Philosophy, Technology and the Arts in the Early Modern Era*. New York, Harper & Row.
- RUSSELL, C. A. (1985): «Introduction». In: RUSSELL, C. A. (ed.), *Recent Developments in the History of Chemistry*. London, The Royal Society of Chemistry, pp. 1-10.
- SISCO, A. G., y SMITH, C. S. (eds.) (1951): *Lazarus Ercker's Treatise on Ores and Assaying. Translated from the German Edition of 1580*. Chicago, University of Chicago Press.
- SOUKUP, R. W., y MAYER, H. (1996): *Alchemistisches Gold. Paracelsistische Pharmaka. Laboratoriumstechnik im 16. Jahrhundert*. Weimar, Böhlau Verlag Wien, Col. Perspektiven der Wissenschaftsgeschichte, 10.
- STOCK, J. T. (1986): «Historic instruments: survival or disappearance?». In: STOCK, J. T., y ORNA, M. V. (eds.), *The history and preservation of chemical instrumentation. Proceedings of the ACS Division of the History of Chemistry Symposium held in Chicago, September 9-10, 1985*. Dordrecht, Boston, Lancaster, Tokyo, D. Reidel Publishing Company, pp. 239-248.
- THOMAS, N. (1998): *Typologie des appareils de chimie et d'alchimie. Caractérisation des formes et des fonctions du mobilier archéologique*, 2 vols. Mémoire de maîtrise d'Histoire de l'art et d'Archéologie. Paris, Université Panthéon-Sorbonne.
- THORNDIKE, L. (1923-1958): *A History of Magic and Experimental Science*, 8 vols. New York, Columbia University Press.
- TITE, M. S., KILIKOGLU, V., y VEKINIS, G. (2001): «Review article – Strength, toughness, and thermal shock resistance of ancient ceramics, and their influence on technological choice», *Archaeometry*, 43, pp. 310-324.
- TITE, M. S. (2002): «Forum article – Archaeological collections: Invasive sampling versus Artefact Integrity», *Papers from the Institute of Archaeology (PIA)*, 13 (en prensa).
- VICKERS, B. (ed.) (1984): *Occult and Scientific Mentalities in the Renaissance*. London, New York, New Rochelle, Melbourne, Sydney, Cambridge University Press.
- VON OSTEN, S. (1998): *Das Alchemistenlaboratorium von Oberstockstall*. Innsbruck, Universitätsverlag Wagner, Col. Monographien zur Frühgeschichte und Mittelalterarchäologie, 6.

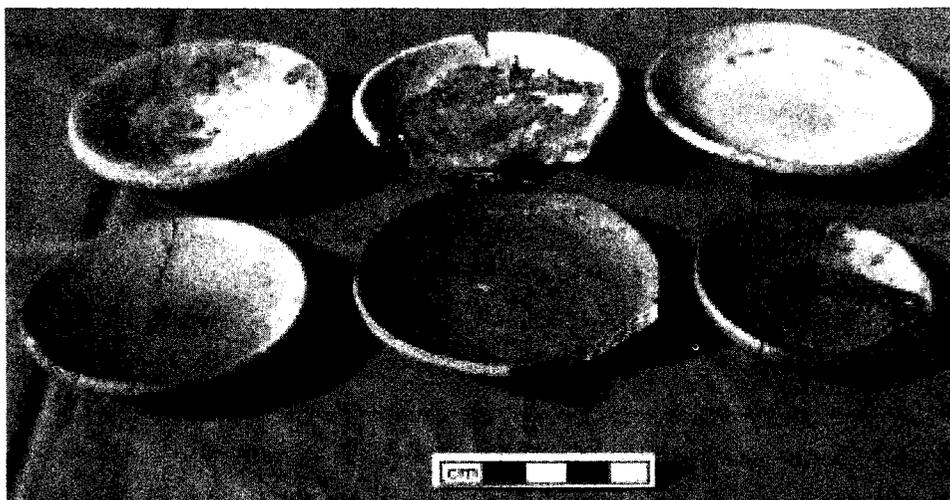


FIGURA 1: Grupo de escorificadores fabricados en distintas pastas y con restos de uso desiguales.

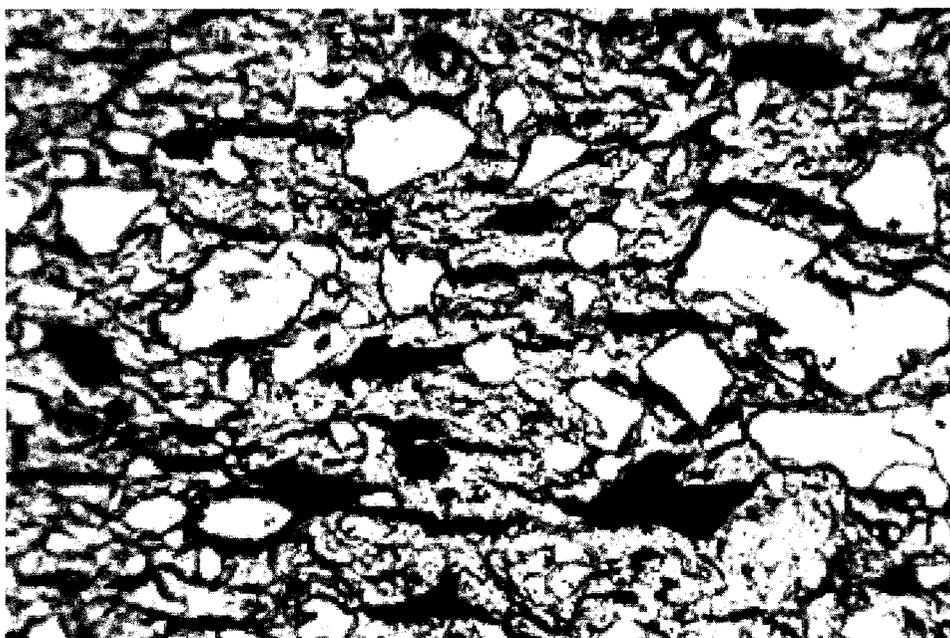


FIGURA 2: Pasta cerámica de un escorificador. Los abundantes granos angulosos son fragmentos de cuarzo machacado mezclados con la arcilla durante su manufactura, y puede apreciarse cómo obstruyen la propagación de las grietas generadas por los contrastes térmicos. (Microsección pulida, fotografiada al microscopio óptico con luz reflejada, aumento 50x).

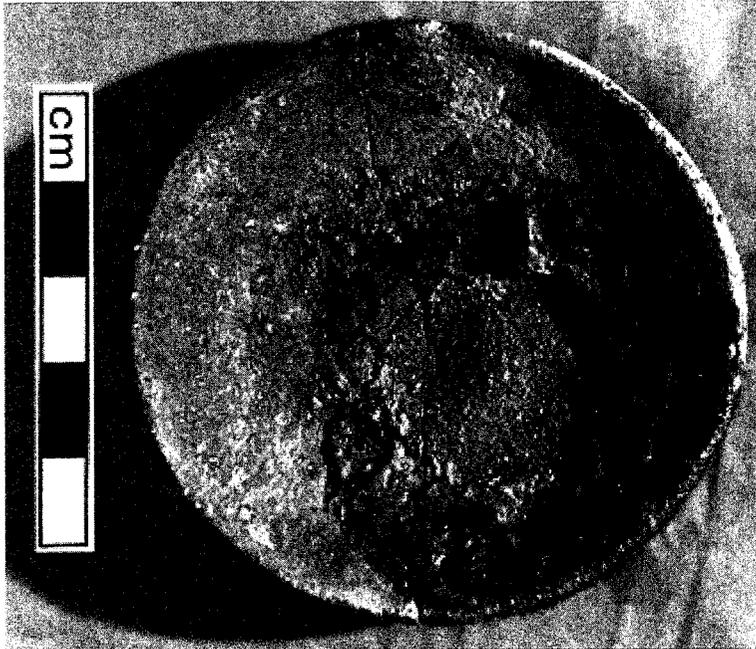


FIGURA 3: Detalle de un escorificador en el que puede apreciarse la concavidad circular dejada por el *regulus* una vez retirado del centro de la escoria.



FIGURA 4: Crisoles triangulares recuperados en Oberstockstall, de un tipo muy estandarizado en la Europa del Renacimiento.

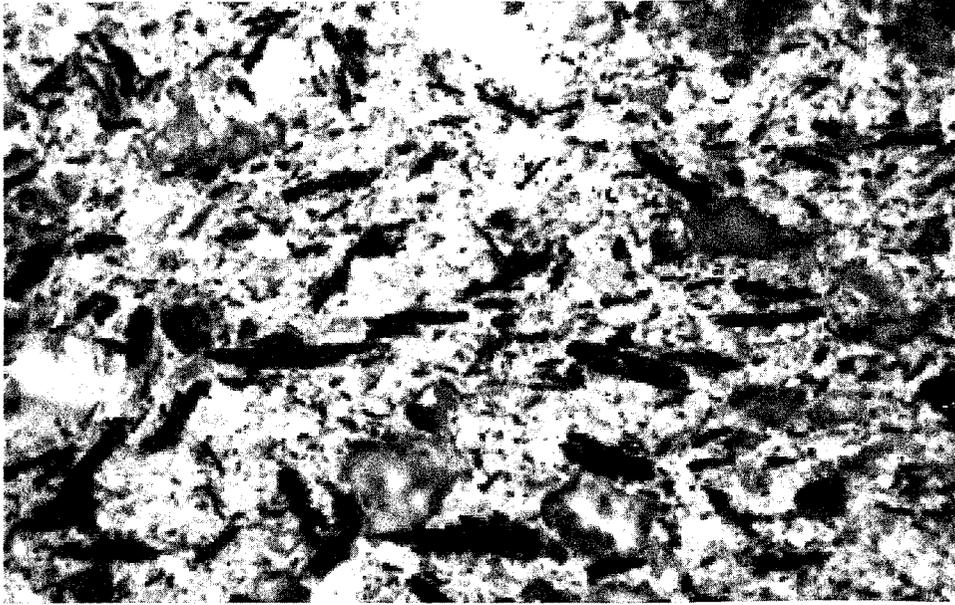


FIGURA 5: Pasta cerámica de un crisol triangular. Las abundantes inclusiones de color negro son fragmentos de grafito, que aumenta la resistencia del crisol a las altas temperaturas. Las inclusiones más grandes (blancas y grises) son fragmentos de cuarzo. (Microsección pulida, fotografiada al microscopio óptico con luz polarizada, aumento 50x).



FIGURA 6: Tres pequeñísimos crisoles de los numerosos ejemplares recuperados en Oberstockstall. El análisis no invasivo por fluorescencia de rayos X permitió confirmar que habían sido utilizados para procesar oro.

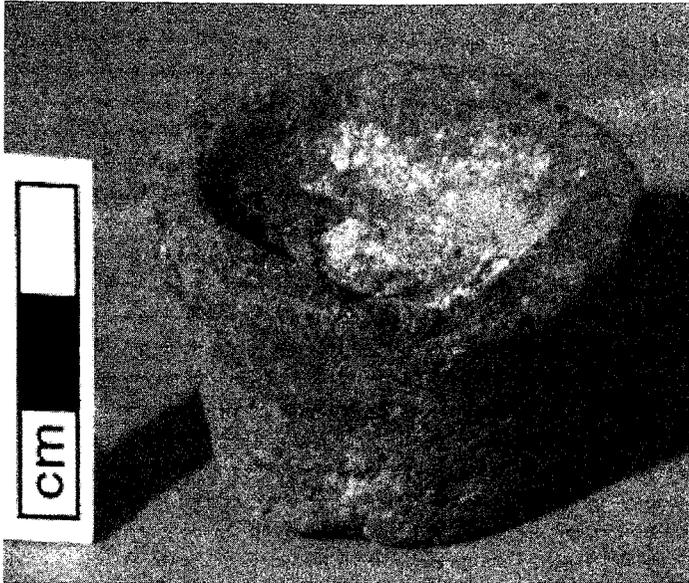


FIGURA 7: Típica copela fabricada a molde con cenizas de huesos calcinados, empleada para el refinado de metales nobles.

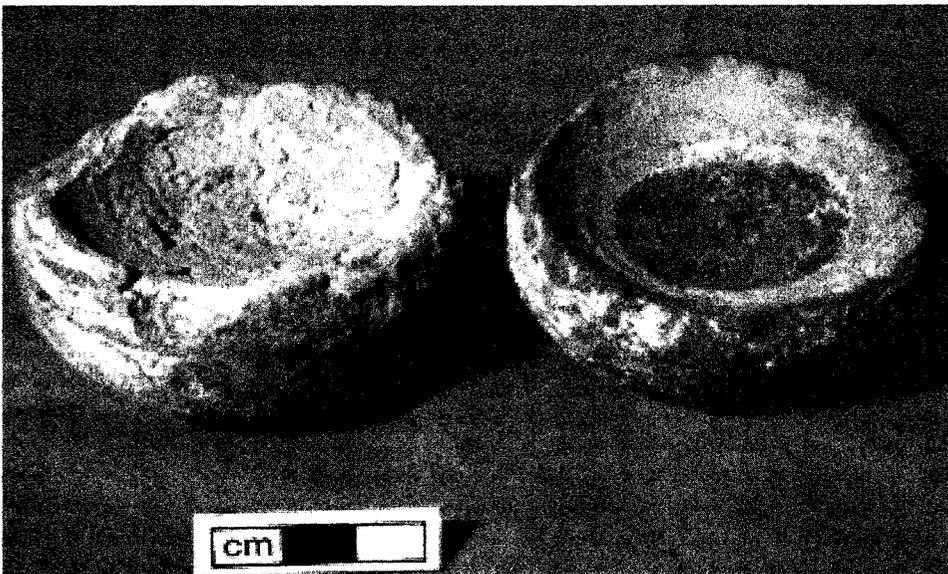


FIGURA 8: Copelas de un tamaño mayor del usual, empleadas también para el refinado de metales nobles.