

Los orígenes alquímicos de la química moderna: una perspectiva arqueológica

Marcos Martínón-Torres

Resumen: Este artículo presenta una breve revisión de investigaciones recientes sobre la alquimia, la química y la metalurgia en la Edad Media y el Renacimiento, con dos fines fundamentales. Por una parte, se argumentará que los historiadores que consideran la alquimia y la química renacentistas como campos separados o contrapuestos, pecan de anacronismo y reproducen un error de interpretación que está entroncado en la bibliografía tradicional. Por otra, se presentarán una serie de ejemplos, en su mayoría derivados del estudio de restos arqueológicos de laboratorios, que demuestran los sofisticados experimentos y conocimientos de los pioneros científicos que muchas veces desdeñamos como oscuros alquimistas.

Palabras clave: Alquimia, Edad Media, Renacimiento, arqueología, material de laboratorio.

Abstract: This paper presents a brief review of recent research on medieval and early modern alchemy, chemistry and metallurgy, pursuing two main aims. Firstly, it is argued that historians who consider Renaissance alchemy and chemistry as separate or contrasting fields are committing anachronism and reproducing an interpretive error that is deeply ingrained in traditional literature. Secondly, some examples are presented, mostly emerging from the study of archaeological remains of laboratories, in order to illustrate the sophisticated experiments and knowledge of the pioneer scientists that are often disdained as obscure alchemists.

Keywords: Alchemy, Middle Ages, Renaissance, archaeology, laboratory equipment.

Desmontando una leyenda: alquimia *versus* química

Con el sustento de famosas novelas como *El Alquimista* de Paulo Coelho o *Harry Potter y la Piedra Filosofal* de Joanne K. Rowling, la cultura popular tiende a asociar la alquimia mucho más a filosofía y a magia que a ciencia moderna. Ideas como la piedra filosofal, o la transmutación de metales como el plomo en oro y plata, se vinculan a alegorías de la transformación personal de un adepto que persigue sus sueños a pesar de las dificultades que deberá sortear, o que posee conocimientos o poderes extraordinarios. Magia, artes ocultas, religión y misticismo parecen tener mucho más protagonismo que los crisoles, alambiques y hornos metalúrgicos. Lo que es más preocupante, no es infrecuente encontrar a profesores de historia de la química que plantean el desarrollo de su ciencia como un proceso que tuvo lugar "a pesar de la alquimia" o, al menos, una vez que la Revolución Científica arrojó luz sobre la oscuridad y superstición alquímicas.

En la lengua actual, la palabra "alquimia" se asocia a la transmutación de metales y la piedra filosofal, normalmente con otras muchas y peyorativas connotaciones; "química", por el contrario, se reserva para la disciplina académica y rigurosa que se ocupa de la estructura y composición de la materia. Partiendo de esta base, un gran número de historiadores han estudiado las obras de varios intelectuales de la Edad Media y el Renacimiento para, a partir de ellas, distinguir entre oscuros alquimistas y respetables químicos. Puntualmente, se reconocen contribuciones de los "alquimistas" en técnicas como la destilación de ácidos pero, en general, su campo de actividad parece vincularse más a filosofía, religión o artes oscuras que

al desarrollo de una ciencia aplicada. Cuando se contraponen los químicos a los alquimistas, los "adeptos de la piedra filosofal" se convierten en una categoría de charlatanes fraudulentos, iluminados, magos o, en el mejor de los casos, lúgubres hombres y mujeres que perseguían un imposible con mucho ahínco y pocos conocimientos.

La imagen caricaturesca de la alquimia que se reproduce en la cultura popular tiene, por tanto, un aparente sustento en estudios académicos. Por eso mismo es importante comenzar por dejar claro que tales visiones parten de una lectura anacrónica y errada de las fuentes históricas. Cuando hablamos de la Edad Media y comienzos de la Edad Moderna, tratar de diferenciar entre alquimistas y químicos es un sinsentido porque, en la época, esta división artificial entre disciplinas no existía. El binomio "alquimia-piedra filosofal" como contrapuesto a "química-ciencia" no aparece hasta el siglo XVIII, y no cristaliza hasta que en 1753 se incluye en la *Enciclopedia* de Diderot y d'Alembert. Antes de este momento, ambos términos eran sinónimos: cuando un autor escogía entre "química" y "alquimia" lo hacía por tradición, o por razones específicas a su contexto particular, muy distintas a las actuales; hay incluso ejemplos de autores que emplean ambos términos indistintamente.^[1]

¿A qué se debe tal galimatías historiográfico? Según parece, a una confusión con la etimología. Tal y como han argumentado Newman y Principe,^[1] hoy sabemos que el prefijo *al-* en *alchymia* no es más que el artículo determinado árabe añadido al griego *chēmeia* o *chymeia*, probablemente derivado de *cheein*, la palabra empleada para la fundición de metales. Una interpretación errónea de este artículo en el siglo XVII llevó a algunos a pensar que connotaba una especial excelencia, y de ahí que, progresivamente, la palabra *alchymia* se reservase para lo que entonces se entendía como la rama de la disciplina más respetable: la búsqueda de la piedra filosofal y la transmutación de los metales. Más adelante, a medida que se demostraba que la transmutación era imposible, y que más y más fraudes salían a la luz, algunos profesionales empezaron a disociarse de la "alquimia" —ahora menos respetable—. De este modo las tornas se invirtieron, "química" se erigió con el trono de la respetabilidad, y los cimientos de un error historiográfico quedaron establecidos.



M. Martínón-Torres

Institute of Archaeology, University College London
31-34 Gordon Square, London WC1H 0PY, Reino Unido
C-e: m.martinon-torres@ucl.ac.uk

Recibido: 01/09/2008. Aceptado: 07/10/2008.

Los orígenes alquímicos de la química moderna: una perspectiva arqueológica.

Aunque con variable énfasis, un número significativo de autores han insistido ya en el hecho de que la alquimia y la química del Renacimiento son la misma cosa.^[1-6] Sin embargo, muchos siguen considerándolas por separado. Aunque la economía de espacio no nos permite entrar en revisiones detalladas, cualquiera que tenga familiaridad con la historiografía de la alquimia durante gran parte del siglo XX reconocerá dos enfoques fundamentales: algunos estudiosos presentan la alquimia como una "pseudociencia" o "protociencia" que, a pesar de su oscuridad y ofuscación, ofreció ciertas contribuciones a la química moderna; otros soslayan el lado práctico de la alquimia y se centran en sus conexiones con astrología, religión, magia o filosofía, a menudo enfrentando este mundo abstracto al de los eruditos experimentos de los "padres de la química". Con independencia de dónde pongan el acento, todos estos estudios parten de una premisa artificial: cuando un sabio renacentista se parece a un químico moderno, entonces lo llaman "químico"; cuando su trabajo parece demasiado abstracto, no cuantitativo, o incomprensible, entonces lo categorizan como "alquimista", con independencia de los términos que encuentren en las propias fuentes históricas. Y así se perpetúa un argumento tan anacrónico como circular.

Tratando de superar este debate estéril y el anacronismo de las connotaciones de "química" y "alquimia" en las lenguas modernas, un número de investigadores han comenzado a emplear los términos arcaicos *chymia* y *chymica* (en inglés, *chymistry*) como genéricos en los que se incluyen todos los especialistas que trabajaban con materia y en laboratorios.^[1,7] De este modo, se evitan problemas de interpretación y traducción a lenguas vernáculas, que inevitablemente exigen elegir entre "química" y "alquimia". Con el término *chymica* nos referimos a un campo más amplio en el que caben los adeptos de la piedra filosofal, pero también aquellos que simplemente trataban de investigar los secretos de la naturaleza, o los ensayadores que trabajaban en cecas y minas.^[7] Todos ellos se veían como parte de un mismo espectro en el que había diferentes escuelas y opiniones, pero no como especialistas de campos mutuamente excluyentes. Varios trabajos recientes han comenzado a revelar la inmensa diversidad de la *chymica* medieval y renacentista, ilustrando la variedad de caracteres que encontramos en este campo, así como los solapamientos, a menudo irresolubles, entre especialistas *chymicos*, metalúrgicos y médicos.^[7-12] Tal diversidad era reconocida en la época, especialmente para diferenciar entre estafadores, *chymicos* respetables y simples ayudantes de laboratorio,^[10] e incluso para establecer arduos debates entre *chymicos* de opiniones contrastadas, pero la terminología empleada y sus connotaciones no son en absoluto equivalentes a las de la "química" y la "alquimia" del mundo actual.

Dentro de este complejo ámbito, y aun cuando algunos disintiesen, la búsqueda de la transmutación metálica se entendía como una actividad más; quizás una empresa particularmente atractiva y propensa al fraude, pero no necesariamente una para ignorantes, estafadores o iluminados. Hasta bien entrado el Renacimiento, la teoría de la materia imperante, y ampliamente aceptada por científicos y legos, era la que había propuesto Aristóteles y retomado después Tomás de Aquino.^[13-14] Para ellos, toda la materia era única, aunque se manifestaba mostrando diferentes cualidades: si una semilla se transformaba en árbol por medio de la humedad, o un mineral en

metal por medio del calor, parecía perfectamente razonable que un metal pudiese transformarse en otro a través de arteificio (Figura 1). Aunque algunos disintieran con argumentos científicos y filosóficos, y otros empleasen medios fraudulentos para enriquecerse o entronarse en el campo académico (tal y como sucede en la ciencia moderna), la idea de la transmutación metálica no era ajena al sentido común de la época, ni algo deplorable por definición.

Es cierto que muchos escritos acerca de la piedra filosofal mezclan ciencia, magia, religión y filosofía, pero tales solapamientos eran comunes a todas las ramas del saber. En este sentido, los adeptos no eran menos científicos que cualquier otro académico de su tiempo.^[15-16] Al mismo tiempo, en textos alquímicos encontramos términos, alegorías y símbolos que se antojan fantásticos y que hoy no comprendemos, lo que ha llevado a muchos a proponer interpretaciones psicoanalíticas.^[15,18] El influyente Carl Jung, por ejemplo, escribía que la alquimia trataba "no de experimentos químicos como tal, sino con algo que se asemeja a procesos psíquicos expresados en lenguaje pseudo-químico".^[19,20] También Mircea Eliade es popular entre los historiadores de la alquimia: partiendo del estudio de religiones, y estableciendo paralelos con la metalurgia africana, este autor argumentaba que la alquimia tenía mucho más que ver con la purificación del alma que con la materia.^[21] Sin embargo, cada vez son más los textos alquímicos que pueden descodificarse y reescribirse empleando terminología científica moderna (ver más abajo), cuando no replicarse en nuestros laboratorios,^[9,15,22-24] lo cual cuestiona la validez de esas interpretaciones exclusivamente abstractas y psicológicas y nos recuerda que la alquimia fue, ante todo, una ciencia aplicada.

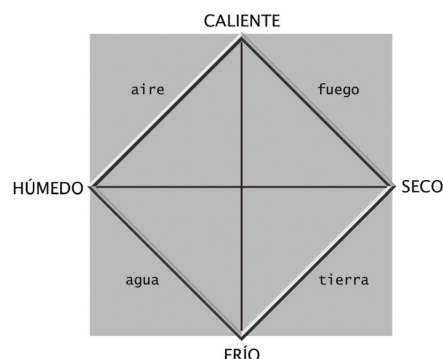


Figura 1. Diagrama esquemático de la teoría de los cuatro elementos: según Aristóteles, la materia era única, pero sus cualidades y manifestaciones externas podían cambiar. Las cuatro cualidades fundamentales de la materia estaban determinadas por dos pares de opuestos: calor-frío y humedad-sequedad. Las cuatro manifestaciones extremas de estas cualidades eran el fuego (caliente y seco), la tierra (seca y fría), el agua (fría y húmeda), y el aire (húmedo y caliente), y todos los elementos de la naturaleza se encontraban entre estos cuatro polos. Dado que las cualidades de la materia se podían alterar, se creía que sus formas o manifestaciones –los elementos– podían modificarse artificialmente también. Esta idea, y diversas reformulaciones que se sucedieron, constituía la base de la creencia de que un metal podía transmutarse en otro.

Nuevos enfoques: la arqueología y la práctica alquímica

La breve revisión presentada anteriormente pone de manifiesto algunas carencias de la historiografía tradicional. Fundamentalmente, muchos historiadores de la alquimia se

han centrado de un modo un tanto estrecho en las teorías y aspectos simbólicos presentes en los documentos históricos, y esto ha llevado a osadas generalizaciones y abstracciones, cuando no a anacronismos. Como contrapunto, conviene recordar que la chymica está intrínsecamente ligada al laboratorio como lugar de trabajo, lo cual conlleva unos planteamientos de investigación radicalmente diferentes. Antes de trabajar en laboratorios, los sabios "poseían *scientia*"; ahora, cada vez más, los chymicos "practican ciencia".^[25] Los laboratorios facilitan la combinación sistemática de experimentos y observaciones, prácticas y teorías. Los instrumentos científicos empleados en laboratorios representan, por tanto, esta conexión entre ciencia pura y ciencia aplicada, y su estudio nos ofrece una estrategia de investigación más equilibrada.^[24, 26–28]

En el resto de este artículo se presentarán una serie de ejemplos que ilustran aspectos prácticos de la chymica. El catálogo no es completo, pero se espera que esta introducción sirva para demostrar el potencial de esta perspectiva, y para estimular trabajos de investigación en esta línea.

Como punto de partida, podemos detenernos en un texto que, a primera vista, podría encuadrarse dentro del inventario tradicional de documentos "alquímicos". Su autor es Basilio Valentín, supuestamente un monje benedictino del siglo XV (aunque sus textos no se divulgaron hasta finales del siglo XVI) al que a menudo se considera como uno de los "padres de la alquimia". En la primera de sus *Doce Claves*, o doce etapas de preparación de la piedra filosofal, escribe:

"Haz que la diadema del rey sea de oro puro, y permite que la reina, que está unida a él en matrimonio, sea casta e inmaculada. Si vas a operar por medio de nuestros cuerpos, toma un lobo gris y fiero (...), de los que se encuentran en los valles y montañas del mundo, por donde vaga salvaje y hambriento. Únelo con el rey, y cuando lo haya devorado, redúcelo a cenizas en un gran fuego. Mediante este proceso, el rey será liberado. Y cuando lo hayas repetido tres veces, el león superará al lobo, y no encontrará nada más que devorar en él. De este modo nuestro cuerpo estará listo para la primera etapa de nuestro trabajo".^[29]

A primera vista, este párrafo se antoja bizarro y carente de sentido. Quizás una interpretación psicoanalítica podría escudriñar el subconsciente colectivo y destacar la imagen de una mujer –la reina– tratando de liberarse de un macho dominante –el rey– empleando medios violentos –un lobo fiero–. Sin embargo, también es posible leer este texto desde una perspectiva práctica, simplemente reemplazando ciertos símbolos por lo que, en nuestra opinión, son los referentes materiales reales a los que se alude. De esta forma, el texto podría leerse como sigue:

"Haz que la diadema de oro sea de oro puro, y permite que la plata, que está unida a él en aleación, se refine. Si vas a operar por medio de nuestros cuerpos, toma antimonita, de la que se encuentra en los valles y montañas del mundo, y que es muy agresiva. Únela al oro, y cuando lo haya consumido, redúcelo a cenizas en un gran fuego. Mediante este proceso, el oro será purificado. Y cuando lo hayas repetido tres veces, el oro superará a la antimonita, y (ésta) no encontrará nada más que devorar en él. De este modo, el oro estará listo para la primera etapa de nuestro trabajo".

Tal y como aparece ahora, el texto es una descripción bastante clara y directa de un proceso de refinado o separación de oro y plata. En su estado natural, el oro suele contener trazas

de plata. Si uno mezcla este oro impuro con antimonita (Sb_2S_3) y se calienta la mezcla en un crisol, la plata se sulfura y se separa del oro, el cual, siendo más noble y más denso, se deposita en el fondo del crisol como un *regulus* puro bajo la antimonita argentífera. El secretismo y el peculiar lenguaje del texto, por tanto, no son un síntoma de ignorancia científica. Este proceso de refinado está documentado en restos arqueológicos del siglo XVII^[30] y aparece descrito en varios tratados metalúrgicos de la época, por ejemplo el de Lazarus Ercker,^[31] quien recomienda, al igual que Valentín, repetir el proceso dos o tres veces para asegurar un perfecto refinado.

Para muchos chymicos, la piedra filosofal era la esencia más pura de la materia, y algunos, como George Starkey,^[32] indicaban que el mejor punto de partida para obtener la piedra era el oro puro. ¿Qué mejor manera de obtener oro puro que refinándolo por medios químicos? Así parece entenderlo Basilio Valentín y también el copista que, ya en el siglo XVII, añadió emblemas ilustrativos a las *Doce Claves*, y ofreció todavía más pistas para descifrar el texto (Figura 2).



Figura 2. Emblema que acompaña a la *prima clavis* de Basilio Valentín. En el medio, el rey y la reina (oro y plata), ésta última portando tres flores (quizás las tres veces que debía repetirse el proceso descrito en el texto). En la esquina inferior izquierda, un lobo (antimonita) sobre un crisol triangular que podría emplearse para refinar el oro y separarlo de la plata. A la derecha, el copista añadió un proceso no mencionado por Valentín: Saturno (plomo) con una copela donde se podría refinar la plata después del proceso de la antimonita. Los artefactos que se muestran bajo el emblema son un crisol triangular y una copela del laboratorio de Oberstockstall, en Austria. (Emblema cortesía de la colección Edgar Fahs Smith, University of Pennsylvania Library).

Crisoles y copelas: tecnología y ciencia

Como se indica en el pie de la Figura 2, el emblema que acompaña a la *prima clavis* de Basilio Valentín ilustra un crisol triangular y una copela. Efectivamente, crisoles y copelas eran los instrumentos fundamentales para cualquier especialista que necesitase procesar metales nobles a pequeña

Los orígenes alquímicos de la química moderna: una perspectiva arqueológica.

escala. Por este motivo, su estudio es especialmente útil para acercarnos a otros aspectos prácticos de la *chymica* medieval y renacentista, así como a las relaciones entre chymicos y metalúrgicos.

Comenzando por los crisoles, éstos se definen como recipientes cerámicos empleados para reacciones a altas temperaturas. Desde finales de la Edad Media adquiere una gran popularidad el crisol triangular, caracterizado por la peculiar forma de su borde, que proporcionaba tres picos vertedores. Estos recipientes se empleaban para mezclar, reducir, calcinar, fundir, evaporar o, en general, procesar sustancias en el fuego. De esta forma, el crisol es el instrumento esencial de cualquier laboratorio, y así aparece representado en innumerables obras de arte (Figuras 2 y 3).



Figura 3. *El Alquimista*, de la escuela de David Teniers el Joven, uno de los numerosos cuadros en los que el crisol triangular aparece destacado entre los otros instrumentos del laboratorio. Aquí se nos muestra uno delante del artesano, así como otros dos en el suelo en la parte frontal izquierda de la escena. (Colección Fisher, Chemical Heritage Foundation. Fotografía de W. Brown.).

En los últimos años, hemos podido documentar y estudiar un gran número de crisoles triangulares encontrados en excavaciones arqueológicas en diversos lugares del mundo. Empleando técnicas de análisis instrumental como la microscopía óptica y electrónica, fluorescencia y difracción de rayos X, y análisis por microsonda electrónica, hemos desarrollado dos líneas de investigación fundamentales. La primera de ellas se centra en el análisis de los residuos adheridos a estos recipientes, que nos permite identificar los reactivos empleados, así como sus proporciones, las temperaturas y atmósferas de reacción en cada caso^[33-35] (Figura 4). A partir de estos datos es posible inferir los conocimientos, destrezas e intenciones de los artesanos, para después contrastarlos y compararlos con la información de los documentos históricos. En varios casos, hemos podido identificar materiales y reacciones que no aparecían descritos en las fuentes de la época –al menos, no explícitamente, como en el caso de Basilio Valentín.

La segunda línea de investigación se centra en los procesos de manufactura y distribución de los crisoles, que también son informativos de prácticas y conocimientos científicos. Basándonos en el estudio químico y petrográfico comparativo de crisoles arqueológicos, es posible identificar la procedencia geológica de las arcillas empleadas para fabricarlos. Gracias a este tipo de estudios, hoy sabemos que la gran mayoría de los crisoles empleados en el mundo renacentista eran importados de dos productores, ambos en Alemania: por una parte, se empleaban los crisoles de la región de Hesse; por

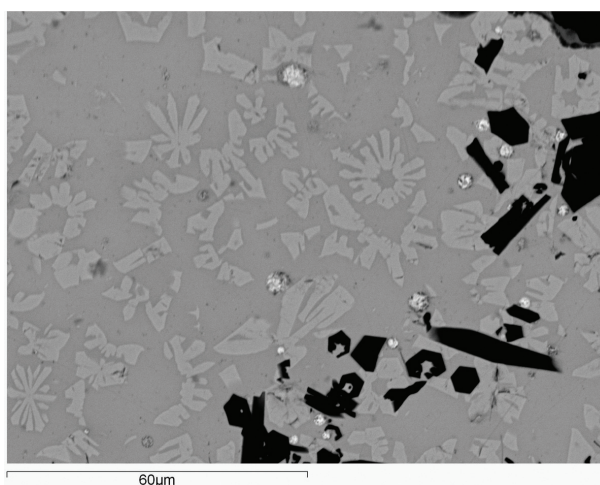


Figura 4. Detalle de la estructura cristalina de la escoria adherida a la superficie interna de un crisol, bajo el microscopio electrónico de barrido. En este caso, los residuos se corresponden con el procesado de una tetraedrita argentífera ($\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$).

otra, los de Baviera. El mercado de estos crisoles cubría virtualmente todo el mundo conocido: desde Escandinavia hasta la América colonial, pasando por Austria, Inglaterra y la Península Ibérica.^[34,36,37]

La existencia de un mercado internacional y transoceánico de instrumentos científicos nos obliga de por sí a cuestionar la tradicional idea del alquimista como un huraño solitario y místántropo. Por el contrario, estos datos indican que existía una red fluida de comunicación e intercambio entre especialistas. Alguien podría argüir, no obstante, que la búsqueda casi obsesiva de ciertos tipos de crisoles podría responder a superstición más que a consideraciones científicas. De nuevo la arqueología demuestra que no es así.

Empezando por los crisoles de Baviera, su microestructura se caracteriza por la abundancia de inclusiones de grafito, que los alfares mezclaban con la arcilla antes de dar forma a los crisoles. Tal práctica sigue llevándose a cabo en la manufactura de crisoles en la actualidad, pues confiere a las cerámicas unas propiedades térmicas, físicas y mecánicas excelentes: dada la elevada refractariedad del grafito, los crisoles de Baviera no colapsarían bajo las extremas temperaturas de algunos experimentos; asimismo, el grafito permanece inerte durante las reacciones químicas, de modo que ralentiza la acción corrosiva de los reactivos sobre el crisol; otras ventajas técnicas de las cerámicas grafiticas son una mayor conductividad del calor, la resistencia al impacto térmico y una mayor dureza.^[36]

Los crisoles de Hesse son todavía más sorprendentes desde un punto de vista científico. En documentos históricos se habla de su calidad inigualable como un misterio, y se estima que el número de crisoles exportados desde Alemania durante la época moderna superó los varios millones.^[37] El fenómeno era tal que, tratando de hacer frente al desembolso económico que suponía la importación de tantos crisoles de Hesse, la Royal Society of Arts de Londres ofreció en 1755 recompensas a cualquiera que pudiese replicar los famosos crisoles alemanes.^[37] Sin embargo, todos los intentos fracasaron. Nuestro estudio analítico nos ha permitido, por fin, descubrir el secreto de estos crisoles, y éste no es otro que la mullita, un silicato de aluminio cuya fórmula es $\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$ ^[38-39] (Figura 5). En la actualidad, la mullita tiene un amplio abanico de

aplicaciones en cerámicas convencionales y avanzadas, tales como materiales de construcción, materiales ópticos, convertidores catalíticos, o en sistemas de protección térmica y motores de turbina de gas para aviones. Algunas de las propiedades de la mullita de particular relevancia aquí son su baja expansión térmica –que se corresponde con una excepcional resistencia al impacto térmico–, su alta resistencia a la fluencia, su refractariedad a altas temperaturas, y una excepcional estabilidad en ambientes químicos agresivos. La mullita como material fue identificada y descrita por primera vez en el siglo XX, y actualmente sigue empleándose para fabricar crisoles. Sin embargo, los fabricantes de crisoles de Hesse ya explotaban las propiedades de este silicato de aluminio varios siglos antes de su descubrimiento oficial: cociendo arcillas caolínicas muy depuradas a temperaturas superiores a 1300 °C, sintetizaban cristales de mullita en sus cerámicas y obtenían un producto inigualable en el mercado. La presencia de una red de pequeñísimos cristales aciculares de mullita en la matriz cerámica de los crisoles les proporcionaba las propiedades ideales para soportar todos los esfuerzos térmicos, químicos y mecánicos a los que se les sometía durante su uso.

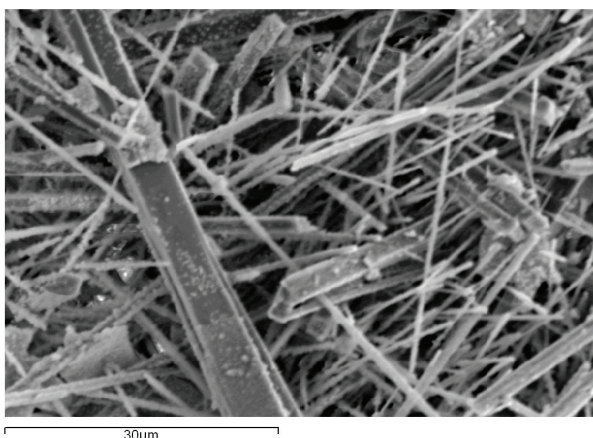


Figura 5. Detalle de la microestructura de un crisol de Hesse bajo el microscopio electrónico de barrido, mostrando cristales aciculares de mullita.

En suma, un estudio científico y desapasionado de los crisoles empleados en laboratorios chymicos sugiere unos conocimientos mucho más sofisticados de lo que a primera vista cabría suponer. Esta perspectiva puede completarse con un estudio de copelas.

Las copelas son pequeños recipientes de forma troncocónica invertida, con un cuerpo macizo y una pequeña depresión en la parte superior (Figura 2). Lo más característico de las copelas, además de su forma, es el material del que se fabricaban: en lugar de arcillas, se empleaban cenizas de huesos o maderas, que se calcinaban, molían, lavaban, colaban y depuraban antes de formarse en moldes de madera o latón. Dada su peculiar forma, las copelas son relativamente fáciles de identificar en yacimientos arqueológicos, lo que nos ha permitido también llevar a cabo estudios analíticos en un número significativo de ellas.^[40–42] A diferencia de los crisoles, que, como se ha visto, podían obtenerse en el mercado internacional, las copelas eran tan frágiles que no podían transportarse largas distancias, y por eso era común que los propios chymicos fabricasen sus copelas. Sobre esta base, el análisis de copelas nos permite identificar distintas recetas

que van desde el empleo de cenizas de hueso hasta el empleo de cenizas de madera, mezclas de ambas en distintas proporciones, o el uso de distintas capas de diferentes materiales. Estas recetas pueden tomarse como punto de partida para identificar distintas tradiciones o líneas de aprendizaje en diversos laboratorios.

Cualquiera que fuese su manufactura, las copelas se empleaban siempre con un mismo objetivo: el refinado de metales nobles. La copelación es un proceso de oxidación a altas temperaturas por la cual los metales nobles se separan de todas las impurezas o metales no nobles que puedan acompañarlos. En la práctica, el metal impuro debe mezclarse con plomo sobre la copela, y después ser sometido a altas temperaturas en una atmósfera oxidante: durante este proceso, a medida que el plomo se oxida, éste promoverá la oxidación de otros metales no nobles y formará compuestos fusibles que serán absorbidos por el cuerpo poroso de la copela. Los metales nobles, por su parte, con una menor afinidad por oxígeno y una mayor tensión superficial, se recogen puros en la superficie de la concavidad como una pequeña bolita (Figuras 6–8).

La copelación, a gran escala y como técnica extractiva para la producción de plata, está documentada desde la Prehistoria. Sin embargo, cuando se llevaba a cabo a pequeña escala y en laboratorios, su finalidad era diferente. Aquí, más que para la extracción de metales, la copelación se empleaba como técnica analítica en ensayos al fuego. La masa de la pequeña cantidad de oro o plata recuperada al final de la copelación podía compararse a la masa de la muestra inicial, y así se obtenía una determinación cuantitativa de la riqueza de la muestra analizada. Tales ensayos eran útiles en actividades mineras (por ejemplo, para estudiar la riqueza de una vena de mineral antes de valorar si su explotación sería rentable), pero también en cecas (para verificar la composición de monedas) y en laboratorios chymicos (para, por ejemplo, comprobar si "oro alquímico" era en realidad oro, para extraer esencias puras o, en general, como técnica analítica para estudiar la composición, y secretos, de la naturaleza).^[7]

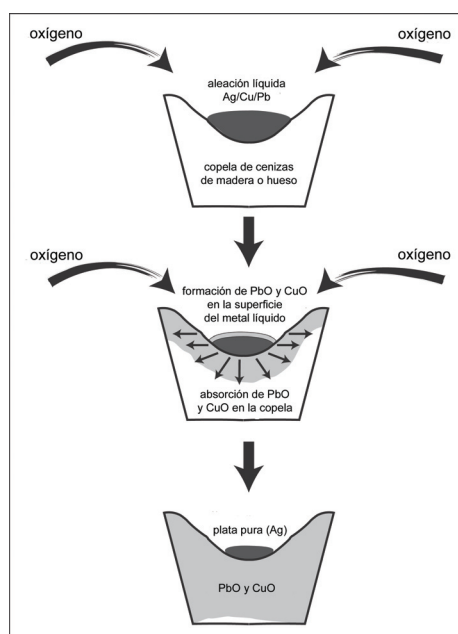


Figura 6. Esquema explicativo del proceso de copelación. En este ejemplo, durante el proceso de refinación por oxidación, la plata se separa de cobre y plomo (Cortesía de Nicolas Thomas).

Los orígenes alquímicos de la química moderna: una perspectiva arqueológica.

La práctica de la copelación revela, de forma implícita, la aplicación de ciertos conocimientos científicos. Entre otros, se están explotando las variables afinidades por el oxígeno de distintos elementos (el plomo se oxida, la plata no), la tensión superficial (que permite sostener los metales refinados sobre la superficie de la copela, en lugar de ser absorbidos por ella), o la capilaridad (que explica por qué el óxido de plomo, o litargirio, penetra en la copela y se separa de los metales nobles). Lo que es más, el empleo de cenizas como materia prima para la fabricación de copelas también puede justificarse con referencia a la ciencia moderna: a diferencia de arcillas silíceas, que reaccionarían con el litargirio para formar un viscoso silicato de plomo, las cenizas permanecen químicamente inertes, y simplemente proporcionan una matriz porosa que puede absorber el litargirio físicamente.

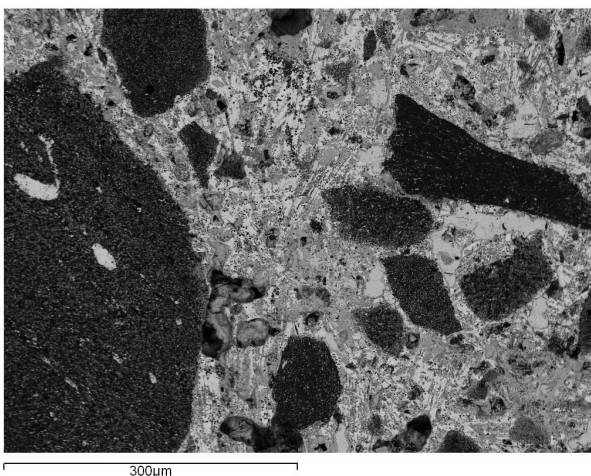


Figura 7. Microestructura de una copela usada bajo el microscopio electrónico de barrido. Además de los granos de cenizas (gris oscuro), que muestran la característica estructura esponjosa del hueso, puede apreciarse la gran cantidad de litargirio (PbO, gris claro) absorbida por el cuerpo de la copela.



Figura 8. Detalle de una copela después de su empleo para el refinado de plata en los laboratorios del Instituto de Arqueología de Londres. En el centro hay una pequeña bolita de plata pura. Por debajo, la copela de cenizas de hueso ha absorbido los óxidos de plomo y cobre, adquiriendo así un color verdoso. Compárese esta imagen con la ilustración de una copela en el emblema de Basilio Valentín reproducido en la Figura 2.

Conclusión: la gran hipótesis

Este artículo ha tratado de poner de manifiesto ciertos anacronismos y prejuicios que, en muchos casos, todavía ofuscan el estudio riguroso de la historia de la alquimia. Además de una breve crítica historiográfica, se han presentado algunos ejemplos, derivados del estudio arqueológico y científico de laboratorios, que revelan que las preocupaciones de muchos adeptos

de la piedra filosofal eran tan prácticas como filosóficas, y que, aun de un modo implícito y quizás sin grandes formulaciones teóricas, los alquimistas fueron capaces de reconocer y explotar principios y materiales que creíamos legado de eruditos químicos de épocas más recientes.

Los análisis científicos de crisoles y copelas han servido para ilustrar varios de estos puntos, pero nuestros argumentos podrían llevarse aun más allá. En el caso de los crisoles, su gran calidad y su comercio internacional no tienen tan sólo un interés anecdótico. Al contrario, parece razonable proponer que muchos desarrollos de la química del Renacimiento, por ejemplo los que llevaron al descubrimiento de nuevos elementos y sus propiedades termoquímicas, fueron sólo posibles gracias a la existencia de estos crisoles. La disponibilidad de instrumentos resistentes y estandarizados industrialmente, de comportamiento predecible y que permiten repetir experimentos aislando variables, es una piedra fundacional de la química moderna: en experimentación científica, para estudiar el comportamiento y propiedades de un reactivo, necesitamos estar seguros de que todas las otras variables –incluidos los instrumentos– son constantes.^[24,30,43–44]

En cuanto a la copelación, su empleo como técnica analítica durante ensayos tiene una relevancia aun más significativa que los principios físico-químicos que explican qué sucede en la copela. La idea implícita en el ensayo es que podemos realizar un procedimiento experimental sobre una pequeña muestra de un mineral o aleación y, a partir de estas observaciones, extraer conclusiones acerca de la totalidad de la población de referencia. En otras palabras, las ideas que subyacen son la ley de conservación de masas y la ley de las proporciones constantes, que aparecen aquí aplicadas varios siglos antes de su formulación escrita a finales del siglo XVIII y comienzos del XIX.^[7,31]

Nuestro catálogo de argumentos para demostrar los orígenes alquímicos de la química moderna es necesariamente limitado. Aquí no se ha hecho más que arañar la superficie de un campo de investigación que promete sorprendentes resultados. De especial interés son los trabajos que argumentan que la química moderna debe sus orígenes a los procesos de síntesis y análisis llevados a cabo en laboratorios medievales y renacentistas.^[45–46] En particular, nuestro trabajo se ha centrado en la interacción entre alquimia, metalurgia y tecnología cerámica, pero en éste y otros ámbitos todavía hay mucho por descubrir: tanto el estudio del vidrio^[47] como el de la porcelana^[48] a comienzos de la Edad Moderna comienzan a arrojar conclusiones en las que los "oscuros y obcecados" alquimistas se erigen como motivación y motor de descubrimientos técnicos y científicos. Del mismo modo, la contribución de la alquimia a la medicina moderna es probablemente mayor de lo que a menudo se aprecia.

Como otras ciencias, la chymica renacentista experimentó un proceso acumulativo de conocimiento. En busca de la piedra filosofal y de otros secretos de la naturaleza, los resolutos chymicos desarrollaron instrumentos, realizaron experimentos sistemáticos y aplicaron principios fundamentales que distan poco de la práctica científica contemporánea. No descubrieron la piedra filosofal pero, en cambio, inauguraron la química analítica moderna. A base de insistir, con tenacidad y rigor, los viejos adeptos comenzaron a alumbrar descubrimientos que cuestionaban los propios fundamentos de su práctica. A medida que se descubrían nuevos elementos qui-

micos, la vieja idea de un universo con siete metales conectados con los siete planetas conocidos se hizo insostenible; asimismo, las propiedades de estos elementos se antojaban tan diversas que resultaba cada vez más complicado imaginar que unos metales pudiesen transmutarse en otros. A la larga, poco a poco, un creciente número de científicos se fue desmarcando de los obstinados adeptos que insistían en que la transmutación era posible, y así comenzó el proceso de separación entre alquimia y química que conocemos en el mundo actual. Sin embargo, este proceso fue largo y complejo. En plena Revolución Científica, nuestro respetable científico Isaac Newton continuaba experimentando con los secretos de la transmutación,^[49] y tal ocupación no debería hacerlo menos respetable ni menos científico ante nuestra mirada prejuiciosa. Todos los grandes genios de la historia lograron sus descubrimientos científicos porque partieron de hipótesis singulares, inusuales y arriesgadas, muchas veces en contra del conocimiento establecido, las cuales motivaron sus incansables experimentos y teorizaciones. En este sentido, la piedra filosofal no fue más –ni menos– que una gran hipótesis.

Agradecimientos

El trabajo que se resume aquí es el resultado de innumerables colaboraciones con profesionales de universidades y museos en diferentes países. Aunque no podrían enumerarse todos aquí, es necesario mencionar y agradecer en particular la inspiración y apoyo proporcionados repetidamente por Thilo Rehren, Aude Mongiatti, Sigrid von Osten y Nicolas Thomas, así como la asistencia técnica de Kevin Reeves, Simon Groom y Philip Connolly. Este artículo se basa en una conferencia impartida en 2008 en la II Escuela de Verano de Historia de la Química, organizada por Pedro J. Campos en la Universidad de La Rioja.

Bibliografía

- [1] W. R. Newman, L. M. Principe, Alchemy vs. Chemistry: The Etymological Origins of a Historiographic Mistake, *Early Science and Medicine* **1998**, 3, 32–65.
- [2] D. Goltz, Versuch einer Grenzziehung zwischen "Alchemie" und "Chemie", *Sudhoffs Archiv* **1968**, 52, 30–47.
- [3] J. Weyer, Die Entwicklung der Chemie zu einer Wissenschaft zwischen 1540 und 1740, *Berichte zur Wissenschaftsgeschichte* **1978**, 1, 113–121.
- [4] R. Halleux, *Les Textes Alchimiques*, Brepols, Turnhout, **1979**.
- [5] A. J. Roche, Agricola, Paracelsus, and 'Chymia', *Ambix* **1985**, 32, 38–45.
- [6] L. M. Principe (ed.), *Chymists and Chymistry. Studies in the History of Alchemy and Early Chemistry*. Science History Publications and Chemical Heritage Foundation, Sagamore Beach, **2007**.
- [7] M. Martin n-Torres, Th. Rehren, Alchemy, chemistry and metallurgy in Renaissance Europe: a wider context for fire-assay remains, *Historical Metallurgy* **2005**, 39(1), 14–31.
- [8] B. Moran, *Distilling Knowledge. Alchemy, Chemistry and the Scientific Revolution*, Harvard University Press, Cambridge (Mass.) and London, **2005**.
- [9] W. R. Newman, L. M. Principe, *Alchemy Tried in the Fire. Starkey, Boyle, and the Fate of Helmontian Chymistry*, University of Chicago Press, Chicago and London, **2002**.
- [10] T. Nummedal, *Alchemy and Authority in the Holy Roman Empire*, University of Chicago Press, Chicago and London, **2007**.
- [11] P. Smith, *The Business of Alchemy: Science and Culture in the Holy Roman Empire*, Princeton University Press, Princeton, **1994**.
- [12] P. Smith, *The Body of the Artisan: Art and Experience in the Scientific Revolution*, Chicago University Press, Chicago and London, **2004**.
- [13] E. J. Holmyard, *Alchemy*, Penguin, Harmondsworth, **1968**.
- [14] L. Elders, *The Philosophy of Nature of St. Thomas Aquinas: Nature, the Universe, Man*, Peter Lang Publishing, Frankfurt, **1997**.
- [15] L. M. Principe, W. R. Newman, Some problems with the historiography of alchemy, en W. R. Newman; A. Grafton (eds.), *Secrets of Nature: Astrology and Alchemy in Early Modern Europe*, MIT Press, Cambridge (Mass.) and London, **2001**.
- [16] G. K. Roberts, Science from the Earth in Central Europe, en D. Goodman; C. A. Russell (eds.), *The Rise of Scientific Europe*, Hodder and Stoughton, Sevenoaks, **1991**.
- [17] A. G. Debus, *Man and Nature in the Renaissance*, Cambridge University Press, Cambridge, **1978**.
- [18] J. Rodríguez Guerrero, Examen de una amalgama problem tica: psicología analítica y alquimia, *Azogue* **2001**, 4, [<http://www.revistaazogue.com>] [consultado el 13/07/2008].
- [19] C. G. Jung, The Idea of Redemption in Alchemy, en D. Stanley (ed.), *The Integration of Personality*, Farrar & Rinehart, New York, **1939**.
- [20] C. G. Jung, *Psychology and Alchemy*, Routledge and Kegan Paul, London, **1980**.
- [21] M. Eliade, *The Forge and the Crucible: the Origins and Structures of Alchemy*, University of Chicago Press, Chicago, **1962**.
- [22] J. Read, *Prelude to Chemistry. An Outline of Alchemy, its Literature and Relationships*, G. Bell and Sons, London, **1936**.
- [23] L. M. Principe, 'Chemical Translation' and the role of impurities in alchemy: Examples from Basil Valentine's Triumph-Wagen, *Ambix* **1987**, 34, 21–30.
- [24] L. M. Principe, Apparatus and reproducibility in alchemy, en F. Holmes; T. H. Levere (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, MIT Press, Cambridge (Mass.) and London, **2000**.
- [25] O. Hannaway, Laboratory design and the aim of science. Andreas Libavius versus Tycho Brahe, *Isis* **1986**, 77, 585–610.
- [26] R. G. W. Anderson, The archaeology of chemistry, en F. Holmes; T. H. Levere (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, MIT Press, Cambridge (Mass.) and London, **2000**.
- [27] E. Child, *Tools of the Chemist*, Reinhold, New York, **1940**.
- [28] A. van Helden, The birth of the modern scientific instrument, en J. G. Burke (ed.), *The Uses of Science in the Age of Newton*, University of California Press, Berkeley, **1983**.
- [29] <http://www.levity.com/alchemy/twelvekey.html> (la traducción al inglés de las Doce Claves de Basilio Valentín aparece reproducida en la *Alchemy Website* de Adam McLean) [consultado el 13/07/2008].
- [30] Th. Rehren, Alchemy and fire assay - an analytical approach, *Historical Metallurgy* **1996**, 30, 136–142.
- [31] A. G. Sisco, C. S. Smith, *Lazarus Ercker's Treatise on Ores and Assaying. Translated from the German Edition of 1580*, University of Chicago Press, Chicago, **1951**.

Los orígenes alquímicos de la química moderna: una perspectiva arqueológica.

- [32] E. P. Philaletes (pseud. de George Starkey), *The marrow of alchemy*, London, **1654**.
- [33] M. Martínón-Torres, *Chymistry and Crucibles in the Renaissance Laboratory: an Archaeometric and Historical Study*. PhD thesis. University College London, London, **2005**.
- [34] M. Martínón-Torres, The tools of the chymist: archaeological and scientific studies of early modern laboratories, en L. M. Principe (ed.), *Chymists and Chymistry. Studies in the History of Alchemy and Early Chemistry*. Science History Publications and Chemical Heritage Foundation, Sagamore Beach, **2007**.
- [35] A. Mongiatti, M. Martínón-Torres, Th. Rehren, Testing ores for gold and silver in Renaissance Austria: new techniques, new discoveries, en *Proceedings of the 36th International Symposium on Archaeometry, Quebec*, **2006** (en prensa).
- [36] M. Martínón-Torres; Th. Rehren, Post-medieval crucible production and distribution: a study of materials and materialities, *Archaeometry* (en prensa).
- [37] J. P. Cotter, 'The mystery of the Hessian wares': post-medieval triangular crucibles, en D. Gaimster; M. Redknap (eds.), *Everyday and Exotic Pottery from Europe c. 650–1900*, Oxbow, Oxford, **1992**.
- [38] M. Martínón-Torres, Th. Rehren, I. C. Freestone, Mullite and the mystery of Hessian wares, *Nature* **2006**, *444*, 437–438 [and supplementary online material].
- [39] M. Martínón-Torres, I. C. Freestone, A. Hunt, Th. Rehren, Mass-produced mullite crucibles in medieval Europe: manufacture and material properties, *Journal of the American Ceramic Society* **2008**, *6*, 2071–2074.
- [40] N. Thomas, M. Martínón-Torres, C. Goy, Th. Rehren. La fouille archéologique du quartier Velotte à Montbéliard: nouvelles données sur des opérations de chimie oubliées, *Bulletin de la Société d'émulation de Montbéliard* **2006**, *129*, 441–465.
- [41] M. Martínón-Torres, N. Thomas, Th. Rehren. Some problems and potentials of the study of cupellation remains: the case of early modern Montbéliard, *ArcheoSciences: Revue d'Archeométrie* **2008**, *32*, (en prensa).
- [42] M. Martínón-Torres, Th. Rehren, N. Thomas, A. Mongiatti, Identifying materials, recipes and choices: some suggestions for the study of archaeological cupels, en A. Giunla-Mair *et al.* (eds.), *Archaeometallurgy in Europe*. Milan: Associazione Italiana de Metallurgia, Milano (en prensa).
- [43] D. Knight, *Ideas in Chemistry. A History of the Science*, The Athlone Press, London, **1992**.
- [44] W. R. Newman, Alchemy, assaying and experiment, en F. Holmes; T. H. Levere (eds.), *Instruments and Experimentation in the History of Chemistry*, MIT Press, Cambridge (Mass.) and London, **2000**.
- [45] W. R. Newman, *Promethean Ambitions: Alchemy and the Quest to Perfect Nature*, University of Chicago Press, Chicago and London, **2004**.
- [46] W. R. Newman, *Atoms and Alchemy: Chymistry and the Experimental Origins of the Scientific Revolution*, University of Chicago Press, Chicago and London, **2006**.
- [47] D. von Kerssenbrock-Krosigk (ed.), *Glass of the Alchemists: Lead Crystal/Gold Ruby 1650–1750*, The Corning Museum of Glass, New York, **2008**.
- [48] G. Adamson, The American Arcanum: Porcelain and the Alchemical Tradition, *Ceramics in America* **2007**, *10*, 94–119.
- [49] Toda la documentación relevante a este respecto está disponible en el proyecto The Chymistry of Isaac Newton [<http://webapp1.dlib.indiana.edu/newton/>].

