

# La amalgamación y Bartolomé de Medina

Manuel Castillo Martos

Departamento de Historia Moderna (Área Historia de la Ciencia),  
Facultad de Geografía e Historia. Universidad de Sevilla. E-mail: mcmartos@cica.es

## AMALGAMACIÓN DESDE LA ANTIGÜEDAD HASTA BARTOLOMÉ DE MEDINA

El mercurio fue utilizado desde la antigüedad en Europa por los romanos y en América por los incas y mayas no como elemento nativo, sino como mineral cinabrio (HgS) para pigmento natural y cuando se obtuvo como tal elemento nativo se empleó para la obtención de oro y plata. Por ejemplo: Los romanos amalgamaban oro para dorar el cobre con auxilio de la sal, y para separarlo de vestidos previamente quemados<sup>1</sup>.

Las primeras descripciones de procesos de amalgamación aparecieron en escritos romanos, tal es el caso de las obras de Vitrubio (88-26 a. de C.) y Plinio "El Viejo" (23-79 d. de C.).

La práctica de amalgamación más usual entre los romanos era con el oro y escasamente con la plata. ¿Por qué? A esta pregunta se pudo responder cuando se supo que la interacción entre la superficie del oro nativo y el mercurio es mucho más fácil que con la plata, debido a que ésta se oxida en el medio ambiente y suele aparecer recubierta de una capa de óxido o carbonato de plata que impide el contacto entre los metales. En esto influiría también la mayor superficie específica y la distinta cinética en las reacciones implicadas en el proceso de amalgamación<sup>2</sup>.

Hoy sabemos que al añadir NaCl a la amalgama se favorece la disolución de sólidos, los cuales al oxidarse electroquímicamente generan cloruros estables. Pero desconocemos cómo se

le ocurrió a los romanos añadir la sal, aunque tenemos noticias de que era un producto normal en otros procesos metalúrgicos. De lo que no cabe duda es que fue un hallazgo importante, porque en definitiva, la sal actúa como complejante secuestrando iones y ayudando a su estabilización.

En la literatura alquímica del Medioevo existen numerosas referencias a la utilización del mercurio para amalgamar metales, aunque en Europa occidental no adquirió gran desarrollo hasta el siglo IX. Entre otros autores que se ocuparon del tema destacan Abu Musa Jabir ibn Hayyam, *Geber* (720?-815) con "El libro del mercurio", Al Razi, *Rhazés* (865-925 ó 928) con "Libro del secreto de los secretos" y Abu ibn Sina, *Avicena* (980-1036) con su escrito "De congelatione et conglutinatione lapidum"<sup>3</sup>.

En el ámbito cristiano, San Isidoro de Sevilla (560-637) en "Las Etimologías" describe la unión de mercurio con distintos metales. Roger Bacon (1214-1294) admitió la doctrina mercurio-azufre. San Alberto Magno (1199?-1280) se refiere en diversas ocasiones a la posibilidad de obtener plata por mercurio<sup>4</sup>, y a un discípulo suyo, Santo Tomás de Aquino (1225?-1274), se debe, al parecer, el nombre de amalgama. Raimond Llull (1235?-1315?) y Arlando de Villanova (1238?-1311) consideraron importante el mer-



Manuel Castillo Martos

curio tanto en cuanto era el origen de todas las cosas, para transmutar un metal ordinario en oro o plata era necesario preparar *líquido mercurial y mezclarlo en proporción debida*. Bartolomé Anglicus (s. XIV) en su obra "Sobre las propiedades de las cosas" trata del mercurio que aparece en la "Arquitectura" de Vitrubio.

Como es bien sabido el fin primordial de la Alquimia era el descubrimiento del mítico agente transformador, la denominada "piedra filosofal" con capacidad de convertir los metales vulgares en metales preciosos. Los alquimistas medievales mostraron interés por el mercurio y su amalgamación con la plata en las prácticas de transmutación, pero no prepararon la amalgama como objetivo final de sus trabajos. En España, uno de los antecedentes lo encontramos en el "Libro del tesoro" atribuido a Alfonso X *el Sabio* (1221-1284), donde al hablar de las amalgamas describe un procedimiento para obtener óxido de mercurio (II) en lenguaje hermético y poético:

*Dos onzas de oro juntad cimentando a una de plata cendrada e mui pura: fundid en crisol aquesta fechora: nueve de azogue le echad bien purgado despues con vinagre, e sal buen lavado ponedle otro tanto de sal de comer también mesturado, ca aveis de facer que sea aquel cuerpo bien conglutinado*

A principios del siglo XIV, Villanova<sup>5</sup> se dedicaba a la investigación de la piedra filosofal y a la transmutación del mercurio en oro, atribuyéndosele con este motivo algunos escritos y experimentos,... Hoy se sabe que obtuvo el óxido rojo de mercurio, el cloruro de mercurio y otros compuestos de dicho metal. El hecho de haber obtenido el cloruro, podemos interpretarlo como un indicio de haber manejado los ingredientes que intervienen en los procesos de amalgamación.

Ya en la Edad Moderna, la primera amalgamación de plata se hizo, probablemente, en Venecia<sup>6</sup>. A principios de 1507, Tommaso Cusano y Giovanni Antonio Mauro, experimentados trabajadores de oro, solicitaron y consiguieron permiso para tratar un mineral argentífero sin fuego, con agua y azogue (mercurio) se trataba de la amalgamación en frío. Al año siguiente, Mauro obtuvo un nuevo permiso, después que expirara el anterior, y erigió en Verona y Schio dos talleres para practicar el nuevo método; pero la guerra entre Venecia y el Imperio, en 1509, truncó el proyecto. Hacia 1530, los intentos del propio Mauro y después de su muerte los de sus herederos fracasaron. Hacia la mitad del siglo cesaron definitivamente esos trabajos.

En la primera mitad del siglo XVI aparecieron libros alemanes donde en unos trataban de la minería, como el de Ulrich Rühle von Halben titulado "Einnutzlich bergbüchlein" de 1505, considerado por muchos el tratado de minería más antiguo de esta materia, y en otros se referían métodos para conseguir plata por amalgamación de sus minerales. La existencia de referencias escritas sobre el empleo de los métodos de amalgamación nos lleva a pensar que en el caso de la plata la paternidad de dichos procesos corresponde a Alemania. Uno de los primeros textos donde se da cuenta de esta práctica es en las cartillas alemanas "Probierebüchlein", donde se exponían los conocimientos de la época sobre minería y ensayos metalúrgicos, y se explicaba cómo recuperar plata y oro de los desperdicios de la amonedación, y del fieltro de los sombreros engalanados con metales preciosos<sup>7</sup>.

En 1540 aparece el primer libro donde se describe el proceso de la amalgamación usando terminología moderna, se trata de la obra "De la Pirotechnia" del italiano Vanoccio Biringuccio (1480-1553). En el apartado dedicado a la amalgama se lee: *La sustancia plata es, también extraída de diversas menas puras en una tina molino, por trituración..., lavándolas y humedeciéndolas después con vinagre, al que se ha añadido verdigris o verdete* (un acetato de cobre, cardenillo:  $\text{Cu}(\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2)$   $\text{Cu}(\text{OH}\cdot\text{H}_2\text{O})$  o bien humedeciéndolas con una solución de agua, de sublimado, vitriolo o verdigris, donde el cardenillo actuaría como oxidante.

Dice Biringuccio que el mercurio puede emplearse para purificar escorias y limaduras de la fundición de plata y oro siempre que merezca la pena su recuperación. Y que el proceso de amalgamación debe hacerse introduciendo en una tina el material que contiene el metal, mientras se muele se humedece el material con vinagre, o agua en la que se haya disuelto el sublimado, verdigris y sal común. La mezcla se cubre con mercurio, se agita durante una o dos horas a mano o se revuelve con caballerías en zonas habilitadas al respecto. Mientras más se restringa más se absorberá el mercurio. Finalmente éste se separa de los residuos térreos con un tamiz, o por lavado, y se procede a su recuperación. Este se libera con una pequeña retorta, o se pasa a través de una bolsa; y todo lo que queda en el fondo, oro, plata u otros metales, se echa en la tina para pulverizarlo. Esta técnica es similar a la expuesta por Alfonso X en el "Libro del Tesoro" ya comentado.

Pocos años después se va a publicar un tratado de metalurgia que va a marcar un antes y un después en la literatura especializada, es "De Re Metallica" obra póstuma de George Bauer Agricola (1494-1555), publicada un año después de su muerte, en 1556. Agricola fue un importante autor de libros de minería y metalurgia, pero el que le ha dado fama y posibilitado pasar a la historia como un gran tratadista de la metalurgia es éste. En él hay varios capítulos que tratan directa-

mente del tema que nos ocupa: *Una nota histórica sobre la amalgamación* (libro VIII, págs. 297-298, 300), *Ensayos del oro, por amalgamación con auxilio de sal común u otros ingredientes, y Práctica con sal, salitre, vitriolo u otros ingredientes; Ensayo con sal de la mena de mercurio* (cinabrio); *Amalgamación de oro nativo; Purificación del mercurio libre, metálico de la mina con vinagre y sal* (libro X, págs. 443-454).

El proceso de amalgamación del oro lo describe así:

*Una pequeña cantidad de él se humedece ligeramente con agua y se calienta hasta que comienza a despedir un olor, y entonces se añaden dos porciones de azogue... Se mezcla juntamente con un poco de salmuera y se trituran con una mano de mortero... hasta que la mezcla tiene un espesor de una pasta y el azogue ya no se puede distinguir de los concentrados. Se lava el material (con agua templada)\* hasta que el agua fluye más o menos limpia. Después de haber vertido agua fría dentro de la misma fuente y rápidamente el azogue, que ha absorbido todo el oro, se va uniendo y quedando a un lado, separando el resto de los concentrados hechos mediante lavado. El azogue se separa después del oro...*

El azogue se recuperaba escurriendo el exceso del mismo y apretando en un filtro de lona la pella formada, y la amalgama que quedaba se purificaba en un crisol, o utilizando una vasija de barro con tapadera de hierro que se sellaba, y posteriormente se colocaba dentro de un horno. Después del calentamiento el azogue, se destilaba adhiriéndose a las partes superiores y se recuperaba frotando con un trébol campestre. Según Agricola, con este último método se perdía más azogue.

Para separar el oro de la plata con azogue, especialmente en objetos de plata dorados: *...se calienta con stibio (antimonio) en un crisol de tierra y se vierte a otro recipiente, por cuyo método el oro se deposita en el fondo y el stibio queda en la parte superior...*

Desde la Edad Media el mercurio se denomina azogue, vocablo que procede de la literatura árabe, y desde en-

tonces se viene nombrando así al elemento químico en los textos que han explicado el beneficio de los minerales argentíferos por amalgamación.

La amalgamación, tal como se concebía en el siglo XVI, tenía por objetivo separar, por el azogue, las impurezas que acompañaban al mineral y obtener la plata pura. Para conseguirlo se mezclaba el mineral argentífero con azogue, sal común, cobre o hierro en forma de sulfato o sulfuro y agua, esa mezcla se amasaba hasta que todo entrara en íntimo contacto, después de separaba la amalgama formada entre la plata y el azogue, y concluía el proceso separando la plata por calentamiento.

### **DATOS BIOGRÁFICOS DE BARTOLOMÉ DE MEDINA**

La vida y la obra de Medina, en Sevilla y en Pachuca, ha sido estudiada por primera vez, de forma exhaustiva y completa en Europa, por nosotros, en el libro *Bartolomé de Medina y el siglo XVI. Un sevillano lleva la revolución tecnológica a América.*<sup>(1)</sup>

Bartolomé de Medina nació en Sevilla (1503/04) en el seno de la familia que formó Pedro de Medina al casarse con Teresa González. Casi nada se sabe de la niñez ni de la adolescencia, períodos de la vida en que nadie, o casi nadie, tiene historia que contar. Contrajo matrimonio con Leonor de Morales, también sevillana, hija de Gómez de Morales e Inés Hernández, quienes la dotaron con 2.000 ducados de Castilla. Tuvieron seis hijos: Lesmes, Bartolomé, Teresa, Francisca, Leonor a Inés.

Desde joven Bartolomé de Medina ejerció como comerciante y hombre de negocios en la Sevilla del XVI, ciudad considerada una *República de mercaderes*, los gremios del comercio superaban en importancia a los artesanales, donde abundaban en locales y espacios dedicados a tareas mercantiles. *Arde toda la ciudad en todo género de negocios*, decía Tomás Mercado.

La familia Medina-Morales residió en dos distritos: hasta 1549 en el de Santa María Magdalena, y después en el de

Santa María, de mayor prestigio social. Lo que hace pensar que los negocios le iban bien y prosperaba en la sociedad sevillana, porque era habitual (y lo sigue siendo) que al progresar, en cualquier orden de la vida, se trasladara la vivienda a mejores zonas. En la época, los comerciantes y mercaderes estaban situados en un intermedio entre la nobleza y los artesanos, aunque las líneas no estaban bien definidas.

Bartolomé de Medina, hombre de varios oficios, dedicó sus primeros

años a trabajar como mercader al por mayor de cuero, pieles y tejidos, mercaderías que importaba de países europeos y africanos. Asimismo, fue agente de seguros marítimos, ocupación que lo puso en relación con personas del virreinato novohispano que oficiaban de agentes en aquellas tierras, en particular con los residentes en su capital, México, entre los que destacan Miguel de Zuazo, Alonso de Mora, Santiago de Figueroa y Andrés Gutiérrez.

## **Manuel Castillo Martos**



## **Bartolomé de Medina y el siglo XVI**

**Un sevillano lleva la revolución tecnológica a América**

**Ayuntamiento de Sevilla. Delegación de Educación**

Portada del libro *Bartolomé de Medina y el siglo XVI*

Estos negocios sevillanos mantuvieron ocupado a Medina hasta que decidió marchar a las minas americanas. La idea de viajar a América no fue una excepción, ni la excentricidad de un personaje adinerado y de buena posición social, sino que era algo normal en la Sevilla del Quinientos. Época en la que muchos decidieron partir hacia el nuevo continente a hacer fortuna. Lo que sí resulta llamativo es que una persona como Bartolomé de Medina, bien relacionado y con negocios que le producían pingües ganancias, decidiera ir a América y cambiar tan drásticamente de oficio. A esta insólita actitud se le ha encontrado la siguiente explicación:

En aquella época las telas destinadas para indumentaria diversa solían tener adornos de plata y oro y con los años Medina tendría acumulado numerosos retales inservibles como tejido pero conteniendo esos metales.

Medina estaba enterado de los conocimientos que tenían los alemanes del empleo del azogue para recuperar plata y oro a pequeña escala, cuando dijo:... *tuve noticia, de pláticas con un alemán, Maese Lorenzo, que se podía sacar plata de los metales sin fundición, ni afinaciones y sin otras grandes costas...*<sup>9</sup> Con toda probabilidad que practicaría en el patio de su casa la amalgamación con los trozos de tejidos conteniendo oro y plata para extraer esos metales siguiendo los consejos del alemán experto en amalgamación. En este contexto no se puede descartar la influencia del ambiente alquímico que se vivía en la Sevilla de la época. Por la ciudad hispalense, entonces capital del comercio indiano, corrían rumores de lo necesitada que estaban las minas americanas de una nueva tecnología para beneficiar los minerales argentíferos.

Estas experiencias sevillanas fueron decisivas para que marchara a América, concretamente a la Nueva España donde, como se ha dicho, tenía amigos por su actividad como agente de seguros marítimos. Uno de ellos, Andrés Gutiérrez, lo puso en contacto con Hernando de Rivadeneyra, vecino de Pachuca y propietario de varias minas,

que le proporcionó dónde practicar su sistema de beneficio por amalgamación. Pachuca, ciudad situada a unos 100 Km. de la capital del virreinato de Nueva España, poseía ricos yacimientos mineralógicos en el subsuelo.

Después de muchas vicisitudes, con días de sombras y luces, Bartolomé de Medina falleció en agosto de 1585 en Pachuca, siendo enterrado en la Iglesia de San Miguel del Cerezo, perteneciente al distrito minero de Real del Monte, a 5 km de la ciudad pachuqueña.

## EL MÉTODO DE AMALGAMACIÓN DE BARTOLOMÉ DE MEDINA

Bartolomé de Medina ha sido, sin duda, el metalurgista empírico más importante del siglo XVI y el que influyó decisivamente para que el proceso de la amalgamación de minerales de plata entrara en la revolución tecnológica, y fuera el sistema por el que se inició la transferencia de tecnología entre Europa y América durante el período colonial español en el Nuevo Continente. Introdujo el procedimiento llamado "de patio" para obtener plata por amalgamación, a partir de minerales de baja ley.

En la sociedad renacentista, la filosofía de la naturaleza ofrecía la imagen de la realidad exterior entretejiendo directamente las formas de la imaginación subjetiva. *Junto a la observación exacta, son los deseos individuales y las sugerencias de la voluntad los que determinan la concepción y la interpretación del ser exterior*<sup>10</sup>.

Bartolomé de Medina perseguía obtener plata de sus compuestos por amalgamación. Para conseguir el objetivo tomó contacto con empiristas afincados en la ciudad de Sevilla, y entre 1551 y 1553, –año de su partida hacia Nueva España, cuando contaba casi los cincuenta años– experimentó la amalgamación de la plata con la ayuda del alemán *Maese Lorenzo* en el patio de su casa sevillana, como se ha comentado.

Bartolomé de Medina se entroniza en el campo de los conocimientos y

aplicaciones técnicas como un novator paradigmático de la revolución tecnológica del siglo XVI, después de que sus ensayos y obras metalúrgicas en el beneficio de la minería de plata fueran coronadas por el éxito en la Nueva España.

Existe una vinculación histórica, que como eje imaginario, este empirista sevillano impuso en épocas en que aún no se salía del estupor de las conquistas y pacificación de las nuevas tierras americanas; perfilar el devenir americano y europeo sobre la minería y metalurgia como sustento de riquezas. Bartolomé de Medina y la misma España imperial no estaban apercebidos, ni en ciencia ni en técnicas, de los cambios. Pero Medina y la España de su tiempo sí estaban preparados para enfrentar y aún resolver esos cambios. Cambiar el mundo, cambiar la naturaleza.

En los ricos yacimientos mineralógicos americanos<sup>11</sup> se encontraron, en los primeros tiempos, oro y plata en estado nativo en las zonas más superficiales, y así comenzó su explotación. El mineral argentífero original depositado en yacimientos filonianos se conoce como mineral hipogénico o primario. Sin embargo, al poco tiempo, la mayoría de los grandes centros minero-metalúrgicos de Mesoamérica y de la cordillera andina se nutrían de menas secundarias, procedentes de las zonas de enriquecimiento de los filones. En la parte superior de los yacimientos estaban los minerales *pacos*, llamados *colorados* en Nueva España, por el color característico que le imprimía la presencia de hidróxido de hierro. En capas más profundas había un mayor porcentaje de sulfuros *mulatos*, sulfoarseniuros y sulfoantimoniuros *negrillos*.

Los cloruros asociados a la plata nativa (cerargirita), al igual que ésta, eran más fácilmente refinados por fundición. Muchas veces había sulfuros (argentita) que complicaban el proceso metalúrgico.

Cuando los metales nativos escasearon, sobre todo la plata, y la ley de los minerales bajó mucho, el proceso de fundición ya no era rentable, urgía

pues resolver la cuestión. Esto sucedió a mediados del siglo XVI, y se comenzó a plantear la necesidad de un proceso alternativo. El cambio llegó de la mano de Bartolomé de Medina, que con su método de amalgamación solventó las dificultades.

## PRIMERA PLATA OBTENIDA POR BARTOLOMÉ DE MEDINA<sup>11</sup>

Bartolomé de Medina sabía que en Nueva España se beneficiaban minerales de oro y plata por fundición, pero que su baja ley no permitía buenos resultados, además de ser muchos los gastos ocasionados los dueños de minas sufrían riesgos de vida y salud al fundir día y noche. *Un ingenio andando bueno beneficia día y noche de 12 a 15 quintales, 20 quintales después de cendrado, poco más o menos, que cuestan 20 marcos de plata, así que después de molido y cernido el dicho mineral tiene los gastos y costas siguientes: para el horno cuatro fundidores y cuatro cargadores y dos panales (sic) y se miden por un cuarto y por persona que abonden con los caballos del ingenio por un cuarto y más dos afinadores, y para moler la greta (óxido de plomo empleado como fundente en la copelación de minerales argentíferos) y cendrada otras dos personas, para hacer los hornos y labrar las piedras, y otras dos para hollar la cendrada; cada vez que afinan son menester seis personas para afinar, dos o más personas cada día para hacer carbón para dar calor a hornos de día y noche y doce negros más para abrir y sacar dicho carbón.*

Bartolomé de Medina tardó más de un año, en poner a punto su método. A la desazón producida porque el tiempo pasaba y el trabajo no rendía los resultados halagüeños esperados, hay que añadir el sentimiento de soledad al verse lejos, en un país con costumbres muy diferentes a las suyas, con una filosofía de vida distinta, sin familia ni amigos sevillanos y una gran preocupación, porque al no tener ayuda económica de estamentos oficiales veía como su dinero menguaba, lle-

gando a declarar al rey que *fui a Nueva España dejando mi casa, mujer e hijos, ... trabajando con mi persona y espíritu, haciendo experiencias y ensayos, gastando mi tiempo y hacienda, sin ocuparme de otra cosa...*

“Cada día consta de instantes que son lo único real y que cada uno tendrá su peculiar sabor de melancolía, de alegría, de exaltación, de tedio o de pasión” (Jorge Luis Borges).

En Pachuca, Bartolomé de Medina realizó su trabajo metalúrgico en un terreno situado en la falda del cerro La Magdalena, a orillas del río Pachuca, cuyo importante caudal fue aprovechado por Medina para obtener la energía hidráulica necesaria para accionar los molinos en los que molía el mineral argentífero antes de su tratamiento con el azogue. Bartolomé de Medina seguro de conseguir el éxito, construyó habitaciones de carácter permanente. La hacienda de beneficio, así formada, fue llamada por él mismo “Nuestra Señora de la Purísima Concepción”, conocida en la historiografía abreviadamente como “La Purísima Grande”. Probablemente el apelativo “Grande” lo fuera por las dimensiones de la finca, no por el tamaño de la imagen mariana que era reducido.

El proceso lo hacía en frío —sin calentar los ingredientes, sal, magistral (sulfato o sulfuro de cobre y/o hierro, a veces se empleaban piritas), agua y azogue—, todos eran amasados y removidos por los pies de los mitayos, o con caballería.

Bartolomé de Medina siguió las pautas que le indicó *Maese Lorenzo* en Sevilla, pero en modo alguno se puede suponer que fuera una instrucción acabada y practicable, le serviría sólo de guía para comenzar el proceso, lo que siguió fue inventiva suya, necesitó *grandes esfuerzos, probarlo muchas y diversas veces y gastado tiempo, dinero y trabajo de espíritu.*

El proceso comenzaba al recibir el mineral pepenado y clasificado por tamaño y ley, en sacos de unas 150 libras que llegaban a lomos de mulas

generalmente. *Muela muy fino el mineral, revuélvalo con revoltura salmuera cargada, agregue azogue y mezcle bien. Repita la revoltura diariamente por varias semanas. Cada día tome una muestra del mineral hecho lodo y examine el azogue. ¿Ve? Está brillante y titilante. Al paso del tiempo debe oscurecerse conforme los minerales de plata se descomponen por la sal y la plata forma aleación con el azogue. La amalgama es pastosa. Lave el mineral empobrecido en agua. Que me el sobrante de la amalgama; se va el azogue y queda la plata.*

Bartolomé de Medina afirmó: *Yo soy el que di la industria se sacase la plata de los metales con azogue. El 29 de diciembre de 1555, desde Xilotepec, se dirige al virrey Luis de Velasco, y después de decir que vino a Nueva España a experimentar a gran escala lo que había hecho en Sevilla en menor cantidad, relata la intranquilidad que tuvo al pasar el tiempo sin obtener resultados positivos. Lo probé muchas y diversas veces, ... me encomendé a Nuestra Señora (¿bajo la advocación de la Purísima Concepción?) y le supliqué me alumbrase y encaminase para que pudiese salir con ello y le ofrecí que en su nombre haría limosna de la cuarta parte de todo el provecho que hubiese de la merced que el ilustrísimo señor virrey en nombre de su majestad me hiciese, dándolo a pobres y plugo a Nuestra Señora de alumbrarme y encaminarme a que saliese con ello.*

## REACCIONES QUÍMICAS DEL MÉTODO DE MEDINA<sup>11</sup>

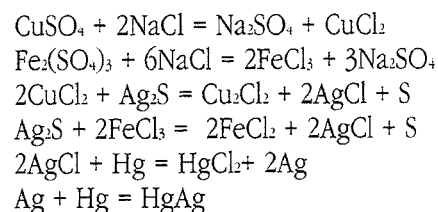
Hay que esperar al siglo XIX para obtener una interpretación acertada de las reacciones químicas involucradas en el Método de Medina. Mucha de la literatura relacionada con la metalurgia de Nueva España publicada hasta finales del siglo XVIII estuvo fuertemente influida por los conceptos que había en el siglo XVI en torno al pensamiento de Paracelso e ideas de Alquimia. Ello impidió que se llegara a una mejor interpretación de los procesos reales que se llevaban a cabo. Se creía que el azufre determinaba la in-

flamabilidad y la mutabilidad química de los cuerpos, el azogue la unión entre ellos, y la sal la estabilidad y la resistencia al fuego. Estos tres principios estuvieron vigentes hasta que en 1790 aparece en México la traducción al español "Tratado Elemental de Química" de Lavoisier, con el que se inaugura una nueva etapa de química cuantitativa.

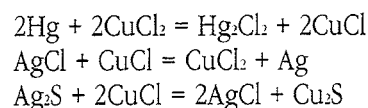
El proceso de Medina no es fácil de interpretar, y los esfuerzos en este sentido constituyen un buen ejemplo de relación entre tecnología y ciencia.

El proceso metalúrgico de Medina ha motivado muchas publicaciones, en las cuales se desarrollan diferentes teorías para explicar las reacciones químicas que se verifican en él.

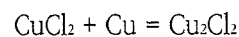
Las siguientes reacciones químicas se producen entre el magistral, sulfato de cobre(II) o sulfato de hierro(III), y la argentita:



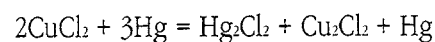
El azogue puede reaccionar con el cloruro de cobre y el producto con el mineral de plata:



En los primeros tiempos se preferían las lamas ya beneficiadas, y después el cobre precipitado, porque éste reacciona con el  $\text{CuCl}_2$ :

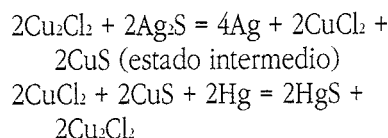


Según esta reacción, al agregar cobre precipitado a una torta en beneficio, disminuirá la concentración de  $\text{CuCl}_2$  y como el  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$  no ataca al mercurio, la velocidad de la reacción en medio acuoso

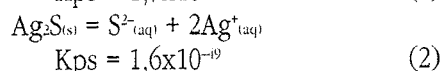
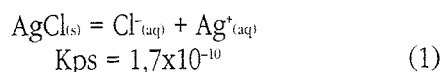


disminuirá, sin que el  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$  sea descompuesto, por el contrario aumenta

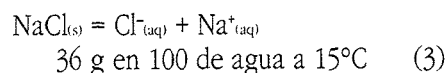
su concentración, y sin que el beneficio se paralice aún cuando el cobre se emplee en exceso, pues este metal no se descompone al  $\text{Cu}_2\text{Cl}_2$ , como sucede con cal o ceniza, y por lo tanto no se interrumperán las reacciones



Las sales de cerargirita y argentita son bastante insolubles en agua:

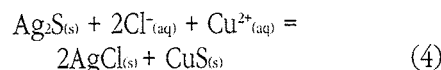


Esto contrasta con la solubilidad de la sal común ( $\text{NaCl}$ ):



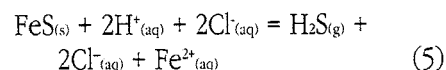
Con esto la presencia del ión cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) es abundante y la cantidad de  $\text{AgCl}$  disuelta es aún menor por el efecto del ión común.

En cuanto a la argentita hay que tratarla con una sal de cobre o hierro para transformarla en cloruro:

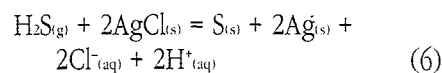


Reacción exotérmica a  $25^\circ\text{C}$  (la variación de entalpía es  $-0,064$  cal/mol, y la variación de entropía:  $+24,3$  cal/molxK), con una variación de la energía libre de Gibbs de  $-7.241,3$  cal/mol [ $-30.312,1$  julio/mol, ( $T = 298$  K)], datos termoquímicos que confirman la espontaneidad.

El sulfuro de hierro(II) ( $\text{FeS}$ ) en un ambiente ácido reacciona con facilidad:



El  $\text{H}_2\text{S}$  gaseoso formado es moderadamente soluble en agua, es un buen reductor y, por tanto, reacciona con la cerargirita:

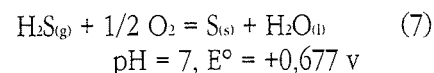


Esta reacción es también exotérmica a  $25^\circ\text{C}$  (variación de entalpía es:  $-14,511$  cal/mol, y la variación de entropía:  $+40,70$  cal/molxK), y la variación de energía libre de Gibbs es  $-2.382,4$  cal/mol [ $-9.972,7$  julios/mol ( $T = 298$  K)], el potencial electroquímico de la reacción es positivo ( $+0,66$  v), (proceso espontáneo). Como se regenera ( $\text{HCl}$ )<sub>aq</sub> entonces la reacción (5) puede continuar.

Las sales con iones  $\text{Cu(II)}$  y  $\text{Fe(II)}$  son el magistral necesario para que tuviera lugar el proceso.

Un análisis termoquímico de las posibles reacciones químicas en el proceso de Medina confirma lo dicho para las reacciones (4, 5 y 6).

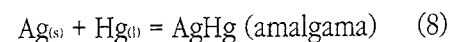
El gas  $\text{H}_2\text{S}$  disuelto en agua podría reaccionar con el oxígeno también disuelto en el agua y proveniente de la atmósfera, pero afortunadamente el oxígeno es mucho menos soluble que el  $\text{H}_2\text{S}$ . Sin embargo, el potencial electroquímico de la reacción



aumenta fuertemente en un medio muy ácido, haciendo más favorable esta reacción que la reacción (6).

Concluyendo, se tendría que el  $\text{H}_2\text{S}$  reduciría el  $\text{AgCl}$  a  $\text{Ag}$  metálica en un medio moderadamente ácido, ya que en caso contrario predominaría la reacción (7).

Finalmente el azogue líquido formaría la amalgama con la plata:



De estos datos termoquímicos deducimos que el método de Medina tiene las siguiente características:

- 1) Si la mena es argentita el sulfuro pasará a  $\text{AgCl}$  en presencia de iones  $\text{Cu(II)}$ , los cuales provendrían del propio yacimiento o de calcopiritas, pero no serían necesarios si la mena es predominantemente cerargirita.
- 2) Para la reducción del  $\text{AgCl}$  a plata



metálica se necesita la presencia de un ácido para producir el reductor, el cual puede provenir de piritas medio descompuestas.

- 3) Si el pH es demasiado bajo el H<sub>2</sub>S deja de reaccionar con el AgCl; si el pH es neutro o ligeramente básico no se forma H<sub>2</sub>S y los iones Cu(II) se precipitan como Cu(OH)<sub>2</sub>.
- 4) Para iniciar el proceso se necesita un poco de calor (en los primeros tiempos lo aportaba el Sol), después las reacciones continúan.

El grupo de reacciones propuesto se ajusta bien al proceso que realizaría Bartolomé de Medina con los minerales argentíferos de Pachuca, y de las mismas se desprende lo frágil que era el proceso, pues el magistral no siempre eran tan asequible como demandaba su necesidad.

El método de Medina es un proceso metalúrgico sencillo y en América, hasta la primera década del siglo XX, se ejecutaba con habilidad: *...es el mismo en su esencia ahora que cuando salió de su autor y las mejoras en los resultados que ahora se nota, el éxito que ahora produce, depende de saber manejarlo mejor que antes.*

## CONCLUSIÓN

Aunque la repercusión mundial que tuvo el proceso de Medina entre los metalurgistas europeos y americanos haga pensar que su inventor fue muy conocido, y su obra divulgada,

esto está lejos de la realidad. Bartolomé de Medina ha sido, hasta el presente, un desconocido y en muchos casos confundido con otros personajes de igual nombre, pero dedicados a otros quehaceres, que también estuvieron por aquellas tierras americanas. ¿En qué momento y por qué se le ocurrió pasar a la Nueva España y cambiar tan drásticamente de oficio? ¿Fue de verdad un inventor? ¿Era sólo uno de los muchos peritos que en aquella época probaban la amalgamación intentando evitar los crecidos gastos que tenía el proceso de fundición de minerales argentíferos? ¿Cuáles son los fundamentos físico y químico del sistema de amalgamación que inventó Medina, y en qué medida es un proceso eficiente? ¿Qué beneficios sacó él mismo de su invento y cómo fue su vida de metalúrgico en la ciudad de Pachuca?

A estas preguntas se le dan respuesta en base a los documentos y obras impresas de los repositorios de Archivos y Bibliotecas de Europa y América, comentados en el libro ya citado, **Bartolomé de Medina y el siglo XVI**. Es una obra incardinada en los dos continentes, describiendo las dos sociedades y ambientes culturales urbanos y científico-tecnológicos en que vivió Bartolomé de Medina. Sin soslayar la base química sobre la que se sustenta el trabajo metalúrgico de amalgamación.

La moderna historia social de la ciencia y de la tecnología: no explica

la revolución de los procesos metalúrgicos americanos merced a un descubrimiento aislado. Frente a este simplismo hay que subrayar su gran complejidad. Del método de Medina se derivaron otros hitos: la adaptación de esta técnica a los diversos minerales argentíferos, las mejoras técnicas del proceso por varios autores, la amalgamación en caliente de Álvaro Alonso Barba y la modificación de los hornos para obtener el azogue (Almadén y Huancavelica), la introducción en el laboreo de las minas peruanas de herramientas de hierro y de acero, mientras los Incas sólo utilizaban utensilios de cobre endurecido. Y una extensa literatura generada en torno al método de Medina, inaugurada con la obra *Arte de los Metales* del onubense Álvaro Alonso Barba.

Por otra parte, el nuevo proceso de amalgamación dio origen a una revolución en el comercio y en el poderío de las naciones, en las costumbres e industria. *Al unir de alguna forma las partes más distantes del mundo, capacitándolas para satisfacer entre sí sus necesidades, para incrementar entre sí sus goces y para fomentar sus respectivas industrias, se iba a producir un resultado generalmente provechoso. ... el aumento de los medios de intercambio y de productos dio en general un impulso al comercio, a la navegación y a la industria como no se había conocido hasta entonces.*



## BIBLIOGRAFÍA

1. M. Bargalló, *La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial*, Fondo de Cultura Económica, 1955, p. 107.
2. O. Puche Riart, L. F. Mazadiego y M. Martín Díez, *Boletín Geológico y Minero*, 1996, vol. 107, pp. 90-100.
3. M. Bargalló, *La amalgamación de los minerales de plata en Hispanoamérica colonial*, Compañía Fundidora de hierro y acero de Monterrey, 1969, pp.23-28.
4. M. Castillo Martos, *La ciencia de los filósofos, "Themata"*, 1996, pp. 100-102.
5. E. Maffei y R. Rua Figueroa, *Apuntes para una biblioteca española* (Edición facsímil de la de 1872), VI Congreso Internacional de Minería, "La Minería Hispana e Iberoamericana", 1970, pp. 245-246.
6. P. Benoit, *Les chemins de la Recherche*, "Mines et Métallurgie", 1994, pp. 209-211.
7. M. Bargalló, *op.cit.*, 1969, pp. 29-30.
8. O. Puche Riart, L. F. Mazadiego y M. Martín Díez, *op. cit.*, 1996, p. 92.
9. M. Castillo Martos, *Bartolomé de Medina y el siglo XVI. Un sevillano lleva la revolución tecnológica a América*, Excmo. Ayuntamiento de Sevilla, Delegación de Educación, 2001, p. 72.
10. E. Cassirer, *El problema del conocimiento*, México, 1953, p. 226.
11. M. Castillo Martos, *op. cit.*, 2001.