

**AZOGUERIA Y AMALGAMACION.
UNA APRECIACION DE SUS ESENCIAS
QUIMICO-METALURGICAS, SUS MEJORAS
Y SU VALOR TECNOLOGICO EN EL MARCO
CIENTIFICO DE LA EPOCA COLONIAL**

MERVYN F. LANG
Universidad de Salford

RESUMEN

Se presenta un análisis actualizado del famoso sistema de beneficio de patio en la minería colonial, dentro del marco de la transferencia de tecnología metalúrgica entre el Viejo Mundo y el Nuevo, a la vez que se perfilan los intentos de perfeccionamiento del proceso dentro del marco del desarrollo de la nueva ciencia de la química en el siglo XVIII. Se aprecia este proceso como signo de la sofisticación de la tecnología colonial, sofisticación a menudo infravalorada en la historiografía tanto hispánica como anglosajona. Se plantean además las incógnitas del beneficio de patio, en cuanto a sus orígenes, su desarrollo, y los intentos de reformarlo y ponerlo al día a finales del siglo XVIII de acuerdo con adelantos en la metalurgia centroeuropea.

ABSTRACT

This is an overview of the famous patio refining process used in colonial mining, set in the perspective of the transfer of technology between the Old World and the New, as well as the evolution of its application within the confines of the concepts of alchemy prevailing in the Renaissance world and the later attempts at improvement against the background of the new science of chemistry in the XVIIIth century. The patio refining process is taken as an indicator of the sophistication of colonial technology, a sophistication largely overlooked in both the Hispanic and the Anglosaxon historiography. The enigmas of the process are considered, both with regard to its origins, its development and the attempts to improve it by applying new metallurgical techniques evolving in central Europe in the late XVIIIth century.

Se revela en América un constante esfuerzo inventor criollo, con miras a reducir el consumo del azogue y a acelerar el tiempo necesario para la realización de las reacciones químicas, a la vez que se desprende que la transferencia de tecnologías iba en los dos sentidos, hacia América y hacia Europa. Esta transferencia sin embargo resultó entorpecida especialmente en el siglo XVII por la política monopolista de la Corona española.

Este análisis actualizado se basa en las autoridades conocidas sobre este tema (Bargalló, Sonneschmidt, Humboldt) junto con material documental del Archivo de Indias de Sevilla.

It is shown that Spanish America underwent a constant effort at creative invention, with the aim of reducing the consumption of mercury and speeding up the refining process, and that the transfer of technology occurred in both directions, towards America and from America. This transfer was however obstructed especially in the XVIIth century by the monopolistic policies of the Spanish Crown.

The sources of this analysis are the established authorities (Bargalló, Sonneschmidt, Humboldt etc.) complemented by documentary material from the Archive of the Indies in Seville.

Palabras clave: Almadén, Azogue, Ciencia colonial, Consejo de Indias, Elhuyar, España, Europa, Freiberg, Gálvez, Guadalcanal, Huancavelica, Humboldt, Ichu, Ilustración, Latinoamérica, Medina, México, Nordenflicht, Pachuca, Perú, Plata, Sajonia, Siglo XVII, Siglo XVIII, Sonneschmidt, Tecnología, Von Born.

Beneficio de Medina o beneficio de patio

El beneficio de patio, proceso por el que se producía casi toda la plata de América, en la época colonial, por amalgamación, representa la tecnología más famosa y más acertada de todo ese período. Gracias a esta técnica, desarrollada por su inventor sevillano Bartolomé de Medina¹ en las minas de Pachuca en México central a partir de 1555, se pudo aprovechar a gran escala, en el interés de de la economía colonial y de la Corona Española, los depósitos de plata del Nuevo Mundo, extensos pero mayormente de mineral de baja ley después de haberse agotado los ricos yacimientos superficiales de las primeras décadas de la Conquista, cuyo refinado por el sistema tradicional europeo de fundición en hornos hubiera resultado demasiado costoso en tierras faltas de combustible adecuado, de alto poder calorífico.

En su detallado estudio de las minas de Huancavelica, el historiador peruano Guillermo Lohman Villena, enfatizando la enorme importancia del

azogue, se empeña en que su interés no es técnico sino político-económico en el contexto del Imperio Español². Pero tal enfoque posterga totalmente el profundo interés científico-tecnológico de un procedimiento único en su tiempo, de enorme utilidad a través de más de cuatro siglos, autóctono en su ambiente americano con destacadas ventajas sobre la tecnología argentífera europea coetánea, aparentemente de una gran sencillez, y cuyas esencias químico-metalúrgicas dejaron por mucho tiempo de alcanzar una esclarecida explicación.

En la leyenda negra promulgada por los historiadores germano-anglosajones, resulta especialmente denigrado el rendimiento científico-tecnológico de la colonia, desestimando totalmente este destacado logro en el campo de la minería de plata, atribuyendo a España sólo la enorme suerte de dar en el Nuevo Mundo con la abundante riqueza argentífera en sentido geológico, sin fijarse en que la conversión en realidad de esta riqueza potencial dependía de una habilidad técnica tanto en los procedimientos para extraer los minerales de sus vetas, cada vez más profundas a medida que pasaban las décadas, como de técnicas sofisticadas de molienda de minerales, de provisión de fuerza hidráulica además de métodos acertados de refinación de estos metales ya reducidos a polvo. En este sentido queda increíblemente infravalorada la técnica de *beneficio de patio* que facilitó el refinado de casi todo el mineral de plata del Nuevo Mundo, técnica de amalgamación inventada y aplicada por españoles emigrados a América unos dos siglos antes de la introducción de la amalgamación a escala industrial en la minería europea³. Tratándose de la innegable suerte de los españoles en América ésta radica no tanto en el descubrimiento de las minas de plata en sí mismo, sino en el hecho de que este descubrimiento coincidió con la disponibilidad, dentro de la misma España, de las minas de azogue más ricas del mundo, las de Almadén, y en América a raíz del descubrimiento de Huancavelica en el Perú en 1563 cuyos depósitos alimentaron la minería en aquel virreinato a partir de 1568. Con el azogue, era posible procesar económicamente a través de toda la época colonial las enormes cantidades de mineral de plata extraídas de las minas de América. Sin esta disponibilidad inmediata del azogue sólo hubiera sido posible el refinado por fundición de escasas cantidades de minerales de ley alta, de todos modos ya muy aprovechados a mediados XVI. Por supuesto se seguía usando la fundición para las menas de alta ley, tanto que se producían momentos de recuperación de la fundición, por ejemplo en épocas de bonanza o en épocas de aguda crisis en el suministro del azogue necesario para el beneficio de patio.

Interrogantes

El beneficio de patio era una forma industrial americana de producir la plata, que dependía de la calidad del mineral de plata de combinar o amalgamar

con el azogue. En las colonias españolas sustituyó ampliamente a la fundición por ser mucho más barato, y a su turno fue reemplazado a partir de 1910 por el proceso moderno de la cianuración, técnica no sólo mucho más económica todavía sino también más rápida y que hacía posible el refinado de minerales diez veces menos ricos que las que se sometían a patio⁴. Por supuesto el beneficio de patio era un proceso químico que dependía de la reacción del mineral que contiene la plata con varios ingredientes, de los que el más importante es el azogue. Ha sido muy comentado, dando lugar a muchas interrogantes ya que por mucho tiempo se llegaba a entender perfectamente las reacciones químicas que entrañaba. Por una parte ha sido muy admirada por su aparente sencillez. Por otra parte ha sido muy criticada por su lentitud y aparente crudeza, por el malgasto de materiales que suponía —sobre todo de azogue, ingrediente caro y escaso a la vez—, y por la falta de ciencia química entre los que lo practicaban, hecho reflejado en su misma denominación —beneficio de patio— que deja de comunicar la naturaleza químico-metalúrgica de este método. Por lo tanto se trata de un tema altamente controvertido que plantea una serie de interrogantes, a saber:

1) ¿Cuáles son sus auténticos orígenes?: resulta difícil creer que haya asomado así de buenas a primeras en América a mediados del siglo XVII teniendo el mundo ya una larga historia de producción de plata, orfebrería, y conocimiento de las propiedades de las amalgamas⁵.

2) ¿Cómo pudo extenderse con tanta rapidez por toda la América Española en una época de comunicaciones lentísimas y de intercambio económico-físico difícilísimo entre las diferentes regiones por la naturaleza del medioambiente y restringido por la política económica mercantilista de la Corona?⁶

3) Si realmente fuera tan beneficiosa como técnica, ¿porqué quedó ignorada en Europa y no se adoptó a la minería en el viejo continente antes de finales del siglo XVIII?

4) Sin ninguna explicación científica ¿cómo es que se haya aplicado este método con resultados tan beneficiosos durante tanto tiempo?⁷

5) ¿Estaba justificada su retención como sistema fundamental de la producción de plata o más bien era una técnica anticuada, despilfarradora de recursos, sobre todo de azogue, que se retuvo sencillamente por aislamiento y atraso científico de las colonias en un medio ignorante de los adelantos técnicos de Europa? Parte de la historiografía sugiere además que fue retenido este sistema primitivo sencillamente porque mediante el monopolio del azogue pudo la Corona controlar más eficazmente el pago de los derechos sobre los metales preciosos (los *quintos* y los *diezmos*).

6) ¿Cómo llegó a imponerse como técnica dominante cuando en más de la mitad de los territorios, y notablemente en el virreinato de México, faltaban recursos locales de su ingrediente principal, el azogue, lo que representaba un enorme inconveniente?⁸

Orígenes del beneficio por patio

Básicamente, la separación de los metales de sus minerales se efectúa de dos maneras: una, un proceso por húmedo en que se mezcla el mineral molido con agua antes de someterlo al proceso; otra, se somete el mineral triturado a la fundición en hornos. El sistema americano del beneficio de patio pertenece esencialmente a la primera de estas divisiones⁹.

En cuanto a sus orígenes, se sabe que los antiguos conocían la capacidad del azogue para combinarse con los metales preciosos, tanto que lo usaban para extraer oro de vestidos usados. En Freiberg gran centro minero experimental de Sajonia, se usaba la amalgamación a pequeña escala también para procesar minerales de oro. Al mismo tiempo circulaban a mediados del siglo XVI algunos tratados teóricos, como el de Georg Bauer (*Georgius Agrícola*), *De Re Metallica* (1550), que hacían referencia a procedimientos de amalgamación a pequeña escala seguramente conocidos por técnicos y peritos españoles coetáneos sobre todo en las minas andaluzas de Guadalcanal y de Almadén cuya metalurgia absorbía los adelantos de Europa Central desde finales del siglo XV¹⁰. El inventor sevillano Medina, fue uno de los metalúrgicos que solicitaron al virrey Luis de Velasco en la década de 1550 regalías por aplicar un proceso ideado sobre información y dibujos obtenidos por lo visto a mineros alemanes. La originalidad de Medina fue la aplicación de este principio a gran escala y su adaptación a las condiciones medioambientales americanas. Antes de ellos, la amalgamación se practicaba a pequeña escala en sitios cerrados, en vasijas o tinajas; de ahora en adelante se impuso el refinado de los minerales al aire libre con el metal molido extendido en grandes montones por pisos de piedra (patio), donde se exponía a los lentos efectos físico-químicos.

Etapas del beneficio de Medina

Para contestar a las interrogantes ya planteadas e intentar aproximarnos a una aclaración de toda la problemática de la tecnología de refinación de la época, cabe en primer lugar señalar en breve las etapas principales que entrañaba el beneficio de patio¹¹:

1) *Saca*: extracción del mineral de las vetas rocosas usando barretas y picas, a profundidades variables según la edad de la mina, seguida por transporte en carretas hasta la hacienda de beneficio.

2) *Molienda* del mineral extraído en molinos de piedra, a mano y más tarde por fuerza hidráulica. Se reducía la mena a un polvo finísimo. Todos los comentaristas extranjeros se maravillaban del acierto de esta etapa del proceso en que se aplicaban sofisticadas técnicas de molienda, superiores según muchos comentaristas a las practicadas en Europa¹².

3) *Ensalmorado*: se formaban en eras o patios montones circulares de 18 a 35 quintales de mena molida. Se agregaba sal común a razón de 2 a 3 libras por quintal y se traspaleaba esta mezcla. En esta etapa se agregaba también magistral (sales de hierro o cobre) a todas las menas menos a las más ricas, a razón de 8 a 10 libras por montón.

4) *Incorporo* del azogue por riego a razón de 1 a 2 libras por montón.

5) *Repaso*: se trillaba el montón con pies humanos o más tarde con caballerías de 20 caballos, formando tortas varias veces al día; poco a poco el azogue iba absorbiendo la plata. El repaso duraba normalmente 2 meses, pero podía extenderse hasta 3 meses, según el tiempo y el clima.

6) *Tentaduras*: durante el repaso se sacaban partidas de diferente partes de la torta y se las examinaba detalladamente, diluyéndolas en agua. Luego se agregaba cal para enfriar la masa (es decir retardar el proceso) o el magistral para calentarla (es decir acelerar el proceso).

7) *Lavado* de la masa en tina con agua y agitación por molinetes; así se separaba la pella (la amalgama de plata), y se quitaba el lodo.

8) *Desazogado*: Se exprimía la pella, se confeccionaban piñas que se sometían luego al desazogado por destilación en vasijas colocadas en hornos, con tuberías que permitían recoger el azogue soltado.

9) *Fundición*: el metal separado se sometía a un acabado fundiéndolo en barras.

Ventajas del método de patio

Las ventajas de este proceso, se relacionaban básicamente a dos factores fundamentales: a) la ley reducida de las minas americanas a partir de mediados del siglo XVI y b) las condiciones medioambientales de la meseta mexicana y del altiplano peruano en que se concentraban la mayoría de las minas:

1) Todo se efectuaba al aire libre, con escasa necesidad de edificios, muy idóneo tanto para el clima seco de la meseta y del altiplano, y para el manejo barato de grandes cantidades de minerales. Así el beneficio de patio se asemejaba más bien a una faena agrícola y menos a un proceso industrial¹³.

2) Se reducía enormemente el consumo de combustible: sólo las etapas finales de desazogado y fundición en barras exigían hornos alimentados a leña. Esta fue la gran ventaja frente a la fundición, teniendo en cuenta la falta de leña u otro combustible de valor calorífico alto en la meseta y el altiplano, aunque en éste se usaba ampliamente como combustible el *ichu* (especie de paja de los Andes peruanos).

3) La maquinaria era sencillísima; el sistema prescindía de hornos sofisticados a gran escala, mientras que los aparatos más sofisticados eran los molinos de piedra en cuya construcción la minería americana desarrolló una hábil experiencia; las etapas más importantes del repaso y del incorporo requerían solamente palas, y pisadas humanas o de animales (bueyes, caballos). La demás maquinaria minera a modo de malacates, bombas, carretas etc., era la misma que para la fundición.

4) Los ingredientes: agua, sal y magistral, contaban con un suministro local siempre a mano; por cierto el agente más importante, el azogue, no estaba a mano pero por lo menos disponible de fuentes españolas y sudamericanas (Almadén y Huancavelica).

5) El sistema era muy adecuado para metales de baja ley (2-4 onzas de plata por quintal de mineral) como eran los depósitos americanos. Incluso minerales de sólo 3/4 de onza el quintal, como las de Guanajuato a finales del siglo XVIII podían beneficiarse económicamente utilizando estos principios¹⁴.

Algunas desventajas

Las críticas hechas a menudo al beneficio de patio reparan en las siguientes desventajas:

1) Su gran lentitud: el repaso podía durar hasta cinco meses, por circunstancias climatológicas o falta de ingredientes clave como el azogue, y como mínimo duraba uno. Durante este intervalo se producía un deterioro de las menas expuestas a la intemperie, y más si se acumulaba mineral sin procesar, a la espera de suministros retrasados de azogue, lo que se producía a menudo¹⁵.

2) La falta de un control acertado de las reacciones químicas: así se dependía excesivamente de factores de tipo impronosticable y mal controlado,

el clima, el tiempo, la altitud sobre el mar, la habilidad individual de cada azoguero para juzgar acertadamente las etapas de la amalgamación, todo a *tiento de ojo*.

3) Dependía de un ingrediente clave, el azogue, cuyo suministro no sólo escaseaba sino estaba sujeto a una fuerte irregularidad. Sobretudo en México, donde se estaba a la espera de suministros teóricamente anuales y en realidad más bien bianuales, desde Almadén, un producto muy difícil de transportar a lo largo de distancias tan largas como era el Atlántico, fácilmente vaporizable, y muy sujeto a fraudes en su distribución, la minería padecía de grandes altibajos en su rendimiento, mientras que en el Perú todo dependía de la buena gestión de una sola mina, la de Santa Bárbara en Huancavelica, fuente tampoco muy fiable por dificultades en el laboreo y gestión¹⁶.

4) Usando el beneficio de patio, el sistema se hacía excesivamente costoso tratándose de minerales de alta ley, ya que cuanto mayor la riqueza del mineral, mayor el consumo de azogue: así todas las mejoras introducidas se destinaban al ahorro de azogue para metales de alta ley (más de 8 onzas por quintal). Aunque, como ya se ha señalada la ley mediana era baja, se continuaba hasta finales de la colonial descubriendo nuevas vetas a medida que se extendían las fronteras, que al inicio daban bonanzas de metal rico. En estos casos, el costo excesivo del azogue obligaba al minero a recurrir al antiguo sistema de fundición.

5) Por falta de acertados conocimientos mineralógico-metalúrgicos, la selección de los minerales idóneos para la amalgamación era muy cruda, poco sofisticada, lo que suponía un malgasto sobretudo de azogue. Comúnmente los minerales se encontraban como cloruro o sulfuro, acompañados por antimonio, bitumen, sales, alumbre etc, que reaccionaban de modo diverso con el azogue. Sobretudo los minerales ferrosos, que abundaban en ciertos reales de minas no combinaban bien con el azogue, pero esto se entendía escasamente por los azogueros. La clasificación bruta que se aplicaba una vez cernidos los minerales eran en *dóciles y rebeldes*, y a todos se les aplicaba la amalgamación de forma más o menos igual, variando sólo la cantidad de sal o de magistral agregada a la mezcla.

Perduración y estabilidad de patio

No obstante inconvenientes de este tipo, en conjunto, en el ambiente americano, las ventajas superaron holgadamente las desventajas para asegurar la perduración de esta técnica a través de toda la colonia. Incluso su duración superó a la del mismo régimen colonial, ya que se siguió aplicando en las

nuevas repúblicas a través de todo el siglo XIX. Un hecho destacado es que el sistema ostentó una gran estabilidad, ya que a finales del siglo XIX se practicaba exactamente igual que a finales del siglo XVI, hecho que de por sí atestigüa el valor duradero de este proceso.

Entendimiento químico de patio

Extraña todavía más su pervivencia teniendo en cuenta la total falta de entendimiento químico de las reacciones que se producían en la masa a través de los hasta tres meses de tratamiento. Por supuesto aparecieron en tiempos coloniales un sinnúmero de descripciones del proceso, la mayoría redactadas por viajeros impresionados por el espectáculo de los enormes montones de mineral extendidos en los patios como podían ser Gemelli Carreri o Luis de Mota y Escobar en el siglo XVII, o por oficiales reales destinados al ramo de minería como Luis de Berrio Montalvo en México. En cuanto a peritos metalúrgicos, sus descripciones se encuadran en tratados generales de metalurgia muchas veces con enfoques o reminiscencias alquimistas, como la obra del onubense Alvaro Alonso Barba (*Arte de los Metales*, 1640) y otros¹⁷. Pero ninguno de estos tres grupos de interesados llegó a proponer una explicación auténticamente científica y menos química, como no podía ser de otra manera en una época en que las ciencias químico-metalúrgicas todavía mantenían una estructura formal y la minería americana quedaba aislada de la investigación científica europea, por lo menos hasta la segunda mitad del siglo XVIII. Así que se tuvo que esperar hasta 1805 y 1825 con la publicación de los tratados del técnico mexicano José Garcés Eguía y el alemán Friederich Sonneschmidt, figura destacada de la misión minera de Fausto de Elhuyar mandada a México en 1788, para que se publicaran unos análisis del beneficio de patio en términos de la química moderna¹⁸. Hasta entonces, el proceso de separar el metal del mineral se consideraba no tanto como una ciencia sino como una forma de arte, como lo sugiere el mismo título del tratado de Alonso Barba, *Arte de Beneficiar los Metales*. La falta de entendimiento científico se refleja en el lenguaje que se usa en las descripciones. Por ejemplo la amalgamación se describe en términos de la *simpatía*, *convivencia*, o *vecindad* del azogue para combinar con la plata. Las menas se describen como *rebeldes* o *dóciles* en cuanto a su facilidad o resistencia a rendir su plata. La masa o torta parecía *fría* o *caliente*, según la rapidez o la lentitud de la etapa de incorporar, y, igual que el cuerpo humano, se tenía que *enfriar* o *calentar* con determinadas sustancias para imponerle el ritmo correcto. La sal se agregaba para *purificar* o *limpiar* la masa, y al realizar su efecto la *abrazaba*. La afirmación del metalúrgico Alvaro Alonso Barba es típica, al constatar que entre los metales mismos se halla la misma *amistad* y *enemistad* que entre las demás cosas¹⁹.

En todo esto se denota la falta de comprensión química, el poco acierto científico, y el carácter fundamentalmente empírico de la aplicación del sistema de patio a través de la época colonial. Más bien se parecía a la elaboración de una receta de cocina que a un proceso con base científica. Teniendo en cuenta esta falta de entendimiento, extraña que se hubiera aplicado con tanto acierto a través de más de cuatro siglos. Esta extrañeza había de expresarla los integrantes de las misiones mineras de Elhuyar y Nordenflicht a finales del siglo XVIII, reconociendo al final los grandes méritos de esta técnica metalúrgica tan idónea para el medioambiente americano.

Realmente la aplicación del método de patio en la época colonial refleja conocimientos algo primitivos de las ciencias de la metalurgia y de la mineralogía. La metalurgia, que hoy estudia la estructura de los metales y las aleaciones, entonces se concebía más bien como habilidad en la extracción de los metales de su mineral. La mineralogía como ciencia es esencialmente producto de las investigaciones europeas de los siglos XVII y XVIII, que tardaron en filtrar hasta la minería americana²⁰.

El hecho es que los conceptos y entendimiento de la amalgamación, tal como se practicaba en la América Española, todavía remontan a la época de la alquimia, con procesos antecesores de la química moderna. Si se toma como punto de partida de esta ciencia la época del químico irlandés Robert Boyle (1627-91) —quien a propósito se dedicó entre otras cosas a las propiedades de los metales preciosos— es decir la segunda mitad del siglo XVII —y que la verdadera creación de la química como ciencia tarda en establecerse hasta la segunda mitad del siglo XVIII, simbolizada en nombres ilustres como Scheele (1742-1786), Priestley (1733-1804) y Lavoisier (1743-1794)— está claro que había transcurrido una gran parte de la época colonial antes de que estas ideas avanzadas se hubieran extendido más allá de las fronteras inmediatas de sus promotores²¹. Por cierto, sería interesante averiguar cuándo y en qué medida filtraron los conceptos de la nueva ciencia al Nuevo Mundo, pero sólo se puede por lo pronto suponer que tardaron bastante en hacerlo por el ambiente intelectual restringido tanto por la gestión de la Inquisición en contra de obras científicas, incluso metalúrgicas (véanse por ejemplo los impedimentos que sufrió Nordenflicht en cuanto a los libros de metalurgia que llevó con él a Perú —en plena época de la Ilustración—) como por el limitado contacto con el extranjero resultante de una administración político-económica tan centralista y recelosa de ideas provenientes de fuera de la península, de ambientes enemigos o competidores comerciales, como lo era a través de toda la época de los Austrias, y sólo de forma mitigada durante la época de los Borbones.

De modo que la primera explicación químico-científica fue dada por los metalúrgicos Garcés y Sonneschmidt a principios del siglo XIX. Las menas argentíferas son mayormente sulfuros mixtos. En la mezcla de la masa el principal agente es el ácido murático, (HCl) que forma con el azogue una sal metálica (tipo el solimán), que reacciona con el elemento argentífero de la mena para liberar la plata. Para facilitar esta reacción de la sal con el azogue es imprescindible el magistral, menos en el caso de los minerales de plata nativa (blanca). Explica además las varias etapas intermedias de la descomposición de los diferentes ingredientes (polvo, agua, sal, magistral, azogue) y los procesos de su interacción que al final dejan la pasta de plata pura [SONNESCHMIDT, 1805, pp. 18-22].

Las reacciones químicas que entrañan el beneficio de patio están sintetizadas en los formularios dados por Bargalló [1955, pp. 194-195].

Perfeccionamientos en el sistema de patio

Los intentos de perfeccionamiento realizados a través de los siglos de la colonia apuntaban los tres grandes inconvenientes: la larga duración del proceso, el consumo y pérdida de azogue y la imposibilidad de predecir con certeza el consumo de azogue y la ley de plata que habían de rendir determinadas partidas de mineral. Así los muchos experimentos que se realizaron entre los siglos XVI y XIX tenían por meta la reducción del tiempo que tardaba la amalgamación y el ahorro de azogue. El consumo de azogue, que comúnmente se calculaba en 8 onzas por marco de plata, pero podía subir hasta 12 y más, se debía completamente a la falta de una técnica sofisticada sobre todo en la etapa del lavado, porque en teoría todo el azogue hubiera podido recuperarse. Así muchas de las *mejoras* tenían que ver con mayor eficacia en el lavado o la introducción de varios tipos de caperuzas para recuperar la mayor cantidad posible del azogue vaporizado en la última etapa del acabado de las piñas en hornos²². Las autoridades virreinales libraron toda una serie de patentes para autorizar inventos de diferente tipo destinados a mejorar determinadas etapas del proceso. Ya en 1571, el virrey Luis de Velasco se quejaba de lo costoso y derrochador del sistema de patio; además de la larga duración, el máximo inconveniente, según él, era la imposibilidad de predecir de antemano la ley de la masa. En un intento de remediarlo se concedieron ya en los 1560 1570 y 1580 toda una serie de patentes a mineros que pretendían haber elaborado sistemas y artefactos bien para reducir el tiempo o para poder determinar acertadamente la ley del mineral a tratar²³.

Así, por ejemplo, en 1567 se les concedió a Leonardo Pragoso y a Cristóbal García, residentes en la Ciudad de México, una patente referente a

maquinaria para facilitar el lavado de grandes cantidades de metal; todo minero que utilizara esta maquinaria había de abonar a los inventores entre 4 y 16 marcos de plata anuales durante de seis años, de acuerdo con el tamaño de su empresa.

En la década de 1640, alentado por el virrey Conde de Salvatierra, el alcalde del crimen, Luis de Berrio y Montalvo, asesorado por un experto minero español Bernardo de Montesinos, dirigía experimentos en Tasco y en otros sitios con miras a reducir el consumo de azogue, con éxito sólo en pequeñas cantidades de mineral. Este sistema, inspirado en la descripción del italiano Biringuccio (*De la Pirotechnia*, Florencia, 1540) pretendía procesar el mineral en sólo 24 horas; las instrucciones desde España insistían en que estuvieran presentes en los ensayos tanto el mismo virrey como otros oficiales reales²⁴.

En 1667 se instruyó al virrey de México Fray Payo Enríquez de Rivera que sometiera a prueba en las minas una nueva técnica desarrollado por Juan del Corro y Cegarra de la Villa de Potosí, en el Perú; este fue el sistema de *artesas y cajones* descrito más adelante²⁵.

Cazo y cocimiento, por estufas

La mejora o alternativa mejor conocida fue la de *cazo y cocimiento* introducida por Alvaro Alonso Barba en Perú (Potosí) a finales del siglo XVI. En este sistema la amalgamación se precipitaba hirviendo cantidades de metal molido muy fino en agua, en cazos de cobre de dos asas, por un período de aproximadamente 20 horas. Este sistema era adecuado para determinados minerales sin plomo, especialmente mineral de plata córnea de ley alta (más de 2 marcos por quintal), y con bajo consumo de azogue (sólo 1-2 onzas por marco, frente a las 8 corrientes); pero resultaba costoso para otros tipos de mineral. Además dejaba una pella menos pura que la de patio corriente necesitando muchas veces un posterior refinado por patio a la vez que el consumo de combustible en la ebullición aumentaba los gastos. Tampoco era idóneo para las grandes masas de mineral que se trataban en la mayoría de las minas, que se medían por toneladas, y que con dificultad y carestía hubieran podido beneficiarse a gran escala en cazos de cobre. En México no se adoptó este sistema en absoluto, tanto que se puede decir que su fama se deriva de su divulgación por escrito por su mismo inventor más que por su extensa aplicación práctica.

Otra variante fue la de *por artesas* (en algunos sitios conocida como *por estufas y canoas*): sistema practicado en diferentes partes de América desde

principios del siglo XVII; este método estaba más extendido que el de *cazo y cocimiento*. La masa molida se repartía en grandes artesas de madera y así el proceso se realizaba con mayor calor que en el suelo frío del sistema de patio. El consumo de combustible era menor que en el caso de *cazo y cocimiento* y también se reservaba para determinados tipos de minerales, de ley mediana y en climas especialmente fríos. El tiempo de la amalgamación era intermedio entre *cazo y cocimiento* y patio. Este sistema coexistía con el de patio y dependía de la naturaleza de los minerales que se juzgaban más idóneos. Tenía la desventaja de que requería una etapa intermedia de fuerte calentamiento de la masa, formada en bolas en hornos, antes de devolverlas a las artesas para la continuación del incorporo.

Por estufas y buitrones (tipo de horno): este sistema se usaba en partes de México en el siglo XVIII. Sin artesas, las tortas se calentaban suavemente por debajo por los llamados buitrones en pisos de madera, cubiertos de tejados, reduciendo el proceso por unas dos semanas. Se aplicaba este método a minerales de ley mediana. Así que según la localización y el tipo de mineral coexistían en la América Española los siguientes sistemas, todos menos el primero a base de la amalgamación con azogue:

1) *Fundición*, reservada para los pocos minerales de altísima ley como mínimo 8 onzas de plata por quintal de mineral. Sin embargo se retuvo y se recurrió a la fundición en tiempos de crisis y de bonanza mucho más de lo que se supone, como en Zacatecas a finales del siglo XVII.

2) *Cazo y cocimiento*, restringido a Colombia y algún territorio circundante para minerales no plomizos, especialmente de plata córnea, que rendían de 2 a 8 marcos el quintal.

3) *Por estufas y artesas*: metales de mediana ley entre 1 y 2 marcos por por quintal, sistema practicado en ciertas zonas de México y de Perú.

4) *Por estufas y buitrones*: en partes de México para minerales de ley algo superior a lo corriente, de 6 a 8 onzas por quintal.

5) *Beneficio de patio*, que dominaba ampliamente y que se aplicaba para cualquier mineral de menas de menos de 6 onzas por quintal (lo normal era 4 onzas en los siglos XVII y XVIII).

Han sido muy comentados los intentos de perfeccionamiento que se realizaron hacia finales del siglo XVIII, consecuencia de las reformas borbónicas y de su enfoque ilustrado en el campo de la ciencia y la tecnología. Dichas reformas fueron motivadas por una parte por los continuados

problemas con el suministro de azogue a través del Atlántico para México y por el deterioro de las minas de Huancavelica en Perú, que incluso se derrumbaron en 1786, y por otra parte la apertura de España, después de dos siglos de introspección, a las innovaciones tecnológico-científicas de Europa. En Europa Central a partir de 1786 el ilustre metalúrgico austríaco Ignaz von Born iba elaborando un sistema de amalgamación con agitación de la mezcla en barriles, de suma utilidad en la minería germano-húngaro, inspirado concretamente en el *cazo y cocimiento* de Alvaro Alonso Barba; dicho sistema iba reemplazando en Europa el antiguo sistema de fundición. Este método se iba perfeccionando en la década de 1790 por el húngaro Ruprecht y el alemán Gellert²⁶.

A finales del siglo XVIII diversas misiones científicas efectuaron mejoras en la organización de la minería en su aspecto administrativo-financiero, además de adelantos en los sistemas de laboreo subterráneo, dejaron de tener éxito en el aspecto metalúrgico a través de los principios introducidos por Von Born, ya que los experimentos fracasaron dadas las circunstancias idiosincráticas de la minería americana, donde las cantidades de minerales a procesar multiplicaban por mucho las cantidades manejadas en las minas europeas, el reparto de la masa en barriles y el coste de la fuerza motriz que necesitaba la agitación, junto con la inferior ley de los minerales, hacían poco rentable este sistema²⁷. Al contrario, Sonneschmidt se convirtió en admirador del beneficio de patio, así que en su famoso *Tratado de Amalgamación*, publicado en 1825, manifestó que

"a lo menos tengo embarazo de declarar que con diez años de trabajo no he podido lograr el introducir ni el beneficio de Born ni otro. Agregó que todos los demás métodos de beneficiar minerales de plata por azogue deben respetar esta primera y original amalgamación como a su madre y origen [...] conviene que se extienda su conocimiento en la Europa para hacer justicia a este sobresaliente método que la preocupación europea ha tratado con bastante desprecio" [SONNESCHMIDT, 1925, p. 9].

Tecnología criolla

La gran interrogante en todo este asunto es la cuestión del aislamiento, o no, de la minería americana colonial frente a Europa, en lo técnico y lo científico²⁸. Se reconoce ampliamente que transcurrieron dos siglos de apartamiento cuando no de total aislamiento, con la suposición de que esta brecha en el intercambio intelectual-científico fuera dañosa sobretodo para América, receptor de la tecnología del Viejo Mundo. Esta brecha se produce por el hecho de que Europa queda excluida de la participación física y económica en el Nuevo Mundo a raíz de la ideología político-económica

mercantilista del colonialismo de entonces. Además el casi permanente estado de guerra entre España y sus vecinos europeos (Inglaterra, Francia, Austria) redujo en gran medida el intercambio tecnológico-científico de ideas, principalmente en la minería, que antes había sido beneficioso hasta la segunda mitad del siglo XVI. Después de 1640 cesó además el contacto regular con las minas de azogue de Idria, en Austria, por caducar el asiento con el suministrador genovés Balbí²⁹. En la primera etapa de la colonización se sabe de la participación de mineros alemanes en las explotaciones mexicanas, a la vez que el mismo beneficio de patio de Medina fue producto de los contactos entre la minería y comercio españoles y técnicos informados alemanes. En 1764 el superintendente de Huancavelica, Antonio de Ulloa, pedía en vano socorro a técnicos alemanes residentes en Linares³⁰. Al final de la época colonial, se vuelve a producir la intervención de la tecnología alemana, pero en el intermedio destaca la falta de consultas o de participación de técnicos extranjeros. Recuérdese que el más grande de los científicos extranjeros en estudiar la minería hispanoamericana fue precisamente Humboldt a principios del siglo XIX, quien fue a América no invitado como asesor sino a sus propias instancias. Prueba de esto es toda la historia enmarañada de las tentativas frustradas de fomentar fuentes autóctonas de mercurio en México, encomendadas a oficiales reales asesorados por unos cuantos peritos locales, pero sin recurrir a especialistas de alto rango capaces de guiar los intentos por los buenos caminos; así se dio el lamentable hecho de que un territorio como México, geológicamente dotado de fuentes de cinabrio, tuviera que depender de las minas de Almadén en España. En el fondo la Corona española fue siempre reacia a la presencia de expertos extranjeros en la minería americana hasta el momento de quedar convencido de su utilidad por el ministro de Indias José de Gálvez en los 1780.

Por otra parte se podría pensar que esta postura resultó igualmente perjudicial para España y para Europa ya que esta brecha en los contactos supuso que la amalgamación, practicada en América desde mediados del siglo XVI, no llegara a Europa hasta finales del siglo XVIII. El intercambio tecnológico iba en los dos sentidos, como lo demuestra además la introducción a España en 1655 de los hornos para beneficiar el azogue (*hornos de Bustamante*) ideados en Huancavelica introducidos por Lope de Saavedra un decenio antes³¹.

Compensando la crítica hecha a Guillermo Lohman Villena al inicio de este artículo, dicho autor acierta sin embargo al afirmar que la gestión española en América veía la minería puramente como negocio a corto plazo, muy lucrativo por épocas, y como ramo administrativo hacendístico, postergando sus bases técnico-científicas a largo plazo³². Esto lo prueba especialmente toda la confusa historia de la dirección de Huancavelica en las décadas que culminan

en su espectacular derrumbe en 1786, consecuencia del deseo de incrementar a toda costa la producción sin reparar en el daño a largo plazo³³. En apoyo de esta tesis, extraña especialmente al repasar la documentación en archivos o la correspondencia del Consejo de Indias en materia de dirección minera la escasa consideración científico-técnica dada a los esfuerzos por solucionar las repetidas crisis de la minería, además del enfoque esencialmente *ad hoc* de toda la gestión minera antes de la época de Carlos III, a la que no se intentó dar un marco científico seguro con vistas a una estabilidad en la producción y beneficios duraderos a largo plazo. Lo que se saca en claro de los testimonios de la época es que todas las iniciativas de tipo técnico provenían de los mineros mismos, apoyados eso sí por palabras alentadoras de la oficialidad, pero sin ningún organismo directivo en lo técnico ni disponibilidad de dotación financiera oficial, por lo menos hasta el momento de la fundación del Tribunal y del Real Seminario en México a finales del siglo XVIII.

Por otra parte, es fácil exagerar el supuesto atraso técnico-científico de la época. Nada más pensar en el hecho de que ni la administración más esclarecida del siglo XVIII, ni los adelantados ilustrados encomendados por los técnicos extranjeros de las misiones mineras, pudieron conseguir mejoras, en la amalgamación de la plata, ni los nuevos planteamientos administrativos de visitantes esclarecidos como Jose de Escobedo en el Perú pudieron evitar el espectacular derrumbe de las minas de azogue de Huancavelica en el mismo momento cumbre del reformismo borbónico (1786). En el fondo los métodos arraigados autóctonos practicados por la minería americana desde mediados del siglo XVI, que integraban además una importante contribución de la herencia tecnológica indígena, tenían un valor intrínseco independiente de Europa. A medida que se prosigue la investigación de este tema, en el plano de la historia de la ciencia aplicada, se irá revelando seguramente una dinámica tecnológica propia, de la que el símbolo mayor será siempre el beneficio de patio.

NOTAS

1 CASTILLO MARTOS, M. (1995) "Bartolomé de Medina introduce la amalgamación en Nueva España". En: M.Castillo Martos y M.F. Lang, *Metales preciosos: unión de dos mundos*, Sevilla, Muñoz Moya y Monraveta, 96-105.

2 Este autor afirma rotundamente que el interés del azogue no es para el tecnólogo sino para el historiador y para el economista. LOHMANN VILLENA, G. (1949) *Las minas de Huancavelica en los siglos XVI y XVII*, Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos, p.vii.

3 La refinación de minerales de plata para amalgamación con azogue se impuso en Europa a partir de 1786, sustituyendo rápidamente el anterior proceso por fundición.

4 La cianuración, usada por primera vez en Transvaal en 1887, e introducida a México a partir de 1910, se basa en la capacidad de las soluciones alcalinas de potasio para disolver los metales preciosos. Además de la rapidez, la cianuración representaba un aumento de un 40% de eficiencia en cuanto a la cantidad de plata extraída de un mineral de ley media, reduciendo de inmediato los gastos de la refinación en un 700%. Para un contraste entre patio y cianuración véase GREVE, E. (1943) *Historia de la amalgamación de la plata*, Santiago de Chile, pp. 103-105.

5 Véase por ejemplo "La amalgamación del oro y de la plata en la antigüedad y en la Edad Media". En: BARGALLÓ, M. (1955) *La minería y la metalurgia en la América Española durante la época colonial*, México, Fondo de Cultura Económica, 107-114.

6 Ya en 1562 se aplicaba el beneficio de patio en 125 minas del centro de México, y se acredita a Fernández de Velasco su introducción al Perú en 1571. LANG, M.F. (1978) *El monopolio estatal del mercurio en el México colonial*. México, Fondo de Cultura Económica, pp. 40-41.

7 El método de patio no se sustituyó definitivamente en América hasta principios del siglo XIX, a pesar de las tentativas de superarla a partir de finales del siglo XVIII.

8 Para un análisis de las fuentes de azogue y los problemas de su suministro desde España y desde Huancavelica véase LANG [1978, pp. 63-137 y 199-253].

9 CASTILLO MARTOS, M. (1994) "Primeros beneficios de la plata por amalgamación en la América Colonial (1565-1600)". En M. Castillo Martos (Ed.) (1996) *Minería y Metalurgia*, Sevilla, Muñoz Moya y Monraveta, 375-406.

10 Aunque esta obra habla más bien de la amalgamación con oro y no con plata. AGRICOLA, G. (1912) *De re metallica*. [Publicado por primera vez en 1556; traducción al inglés de Herbert Clark y Lou Henry Hoover, Londres, libro X, p. 461]

11 Existen muchas descripciones del beneficio de patio. Véase, por ejemplo, VILLARELLO, J.D. (1904) "Estudio químico del procedimiento metalúrgico conocido con el nombre de amalgamación mexicana o beneficio de patio", *Memorias de la Sociedad Científica Antonio Alzate*, tomo XX, México. También, BARGALLÓ [1955, pp. 179-187] y LANG [1978, pp. 46-51].

12 Entre los admiradores de esta técnica de molienda se cuenta el gran científico alemán Alejandro von Humboldt, que también lo describe y comenta en su *Ensayo político sobre la Nueva España* (1822) París, tomo III, pp. 163-177.

13 Es muy conocida la recíproca dependencia de la minería y la agricultura en la América Española, y la coexistencia de la actividad minera y la agrícola en muchas regiones, como por ejemplo en el centro y norte de México.

14 Por supuesto la rentabilidad de un mineral determinado dependía no sólo de su ley sino también del precio del azogue. Comúnmente éste se cobraba a 82 pesos el quintal en México y 92 en el Perú; cualquier intento de elevar este precio provocaba las protestas de los mineros. Para una discusión de la relación precio-consumo-rentabilidad de la minería, véase LANG [1978, pp. 240-253].

15 Estos retrasos se producían por fallos del sistema de Flotas y Galeones, altibajos de la producción de Almadén y Huancavelica, o interrupción en las comunicaciones con ultramar en tiempos de guerra. Véase LANG M.F. (1998) *Las Flotas de la Nueva España: despacho, azogue, y comercio*. Sevilla, Muñoz Moya y Monraveta.

16 Para problemas de la distribución del azogue véase LANG [1978, pp. 199-240].

17 Véase BARGALLÓ [1955, pp. 134-160], para una apreciación de algunas de las descripciones aparecidas en los siglos XVI y XVII.

18 SONNESCHMIDT, F. (1805) *Tratado de la amalgamación de Nueva España*. México, Imprenta de Zúñiga y Ontiveros. Esta obra se considera la primera en ofrecer una explicación adecuada de patio desde el punto de vista químico-metalúrgico. También ofrece una descripción de aproximado acierto químico el tratado del mexicano GARCÉS Y EGUÍA, J. (1802) *Nueva teórica y práctica del beneficio de las metales de oro y plata por fundición y amalgamación*. México, Imprenta de Zúñiga y Ontiveros.

19 BARBA, A.A. (1967) *El arte de los metales*. [Publicado originalmente en Lima, 1632, nueva edición Potosí]. Véase BARGALLÓ [1955, p. 189], para un análisis de esta obra.

20 Los tratados sobre minerales por K. von Gesner (1565) y sobre piedras preciosas por Anselm Baethius de Boadt (1609) suelen tomarse como puntos de partida de la mineralogía moderna.

21 Robert Boyle (1627-1691), Karl Wilhelm Scheele (1742-1786), Joseph Priestley (1733-1804), padres fundadores de la química moderna.

22 Tal como la sugería BARBA [1967, pp. 90-91].

23 Los detalles de una colección de estas patentes se encuentran en el Archivo General de la Nación, México, sección Mercedes, rama 9.

24 Luis de Berrio y Montalvo era abogada licenciado por las Universidades de Osuna (1622) y Sevilla (1632). En 1635 se le nombró alcalde del crimen en la Audiencia de México, y en 1642 se le encargó la dirección de todas las minas de azogue que se descubrieran en Nueva España. Para una relación de sus otros experimentos, especialmente sus intentos de desarrollar fuentes mexicanas de azogue, véase LANG (1968), 265-282. El metalurgista italiano BIRINGUCCIO, V. (1540) en *De la pirotechnia* describía un sistema de amalgamación para extraer la plata de las menas y de monedas antiguas. Se anota este experimento de Berrio en el Archivo General de la Nación de México, sección cédulas ordinarias, tomo 2, nº 56.

25 Archivo General de la Nación, cédulas ordinarias, tomo 15, nº 190.

26 Véase VON BORN, I. (1788) *Méthode d'extraire les métaux parfaits des minerais et autres substances métalliques par le mercure*. Viena, Imprimerie De Gay.

27 A finales del siglo XVIII se manejaban sólo en las minas mexicanas unas 10.000.000 toneladas de mineral frente a 60.000 en las minas de Freiberg. IZQUIERDO, J.J. (1958) *La primera casa de las ciencias en México: El Real Seminario de Minería*. Mexico, Ediciones Ciencia, p. 193.

28 Véanse, por ejemplo, las críticas hechas por WHITAKER, A. (1941) *The Huancavelica Mercury Mine*, Cambridge Massachussets, pp. 85-90, quien sugiere

sobre todo que las misiones reformadas de Nordenflicht y Elhuyar llegaron demasiado tarde.

29 Para una relación de la gestión de Balbi además de la importancia del suministro de azogue desde Idria, véase LANG [1978, pp. 22-136].

30 Esta propuesta fue apoyada por su colega Jorge Juan, conecedor de la minería peruana y residente en aquel tiempo en Santander. [WHITAKER, 1941, pp. 44-45].

31 Al respecto, es aleccionador notar que en 1588 un minero español, Juan de Córdoba, ofreció introducir a Viena un método de amalgamación por azogue, pero fue rechazada su propuesta. [BARGALLÓ, 1955, p. 113].

32 LOHMANN VILLENA(1946), p. vii.

33 Para las circunstancias del derrumbe de Huancavelica además de toda la problemática tecnológica de la extracción de sus minerales, con respecto a la eficacia científica del régimen, véase LANG, M.F. (1986) "El derrumbe de Huancavelica en 1786 - fracaso de una reforma borbónica". *Histórica*, vol X, n° 2, Lima, Universidad Pontificia, 213-224.