

## INFLUENCIA DEL DESARROLLO DE LA QUIMICA EN LA MINERIA ESPAÑOLA Y NOVOHISPANA

MANUEL CASTILLO MARTOS  
ALFREDO BERNAL DUEÑAS  
Universidad de Sevilla

### RESUMEN

*En el siglo XVIII se produjo una abundante producción en Química, como tal ciencia, disciplina que contribuyó al avance de los métodos metalúrgicos; una relación de ellas es el pórtico que abre un estudio sobre la Química y la Geología en el virreinato de Nueva España, para continuar con las diversas variantes empleadas para obtener plata por amalgamación y las teorías que se elaboraron para explicarlas. Se termina con referencias a las principales minas argentíferas y a los descubrimientos más sobresalientes con influencia en la minería y metalurgia.*

### ABSTRACT

*In the XVIII century a lot of bibliography on Chemistry, Mining and Metallurgy have been produced, and here is commented. This research continues with a study on Chemistry, Geology, different methods of amalgamation in New Spain and theories on amalgamation processes. The principal silver mines in these vicerealty is described together the principal discoveries in science with influence in mining and metallurgy.*

Palabras clave: Minería, Metalurgia, Plata, Geología, Química, Bibliografía Nueva España, Siglo XVIII.

### Introducción

La transferencia de tecnología minera es un tema extenso y complejo, por lo que se hace necesario definirlo dentro de límites precisos de época, y de materia para que pueda desarrollarse en el espacio limitado de un artículo.

Respecto a la materia hacemos mención a las explotaciones de azogue y plata y su incidencia en las transferencias de tecnología entre México y España en dos campos: el laboreo de las minas y el beneficio de los minerales.

Como la tecnología minera y metalúrgica del siglo XVIII se da en una época donde la Química comienza a desarrollarse, expondremos los hechos y descubrimientos más relevantes que tuvieron especial conexión con minería y metalurgia.

### **Bibliografía minera y técnica más importante aparecida en el siglo XVIII**

Hubo pocos cambios tecnológicos durante el siglo XVIII en el proceso de extracción de plata. Sólo a finales de esta centuria se intentaron introducir algunas modificaciones en la ingeniería minera y en los procedimientos químicos para purificar los metales.

Entre los años 1770 y 1810 aumentó la producción 4 veces aproximadamente respecto a años anteriores, lo que contribuyó a que en España se expidieran Reales Ordenanzas de Minería, en el último tercio de siglo, y se crease el Real Tribunal y Colegio de Minería.

En los años comprendidos entre 1752 y 1802 se redactaron muchos escritos sobre técnicas de beneficio, unos publicados y otros no.

En 1758 aparece *Arte o nuevo modo de beneficiar los metales de oro y plata por azogue* de Juan Ordoñez de Montalvo; y en 1784, *Ensayo de Metalurgia* de Francisco Javier de Sarriá, ambas son exposiciones de antiguas técnicas para beneficiar los minerales.

En 1770 se reimprime en Madrid *Arte de los Metales* de Alvaro Alonso Barba, famoso por su método de *Cazo y Cocimiento*.

Guillermo Bowles en su *Introducción a la Historia Natural y a la Geografía Física de España*, (1775) se refiere a varias minas de mercurio, destacando, por su influencia en la minería americana, la de Almadén. También analiza una mina de Oro de Mezquital en México y dedica varias páginas al platino, aún conocido como platina.

En 1792 salen a la luz dos obras con variantes para amalgamar el mineral de plata:

*Idea suscita de Metalurgia*, donde José Antonio Ribera Sánchez, interpreta químicamente la amalgama según la teoría de las afinidades de los metales, plata y oro con el mercurio y explica la acción de sal, magistral, ceniza y cal.

José Gil Barragán en *Nuevo descubrimiento de máquina y beneficio de metales por el azogue* describe una máquina de agitación continua a base de molinetes de rotación en serie que ahorra azogue y otros ingredientes según Antonio Pineda y Cristóbal Mendoza.

En 1802 se imprime el hoy afamado libro, *Nueva técnica y práctica del beneficio de los metales de oro y plata por fundición y amalgamación*, de José Garcés y Eguía. Esta obra, además de innovaciones, presenta importantes descripciones sobre una variante del *tequesquite*, [álcali del mineral que en España se suple con la barrilla, (carbonato de sodio)], incluyendo referencias a los modernos análisis cuantitativos y un estudio nuevo sobre el azogue.

Recordemos que la obtención de azogue era motivo de gran preocupación porque era ingrediente esencial para la amalgamación, proceso usual para obtener plata. Por ello, cuando en 1778 llegó a la ciudad de México Rafael Helling, trabajador en las minas de mercurio de Almadén, (Ciudad Real), se puso en contacto con José Antonio de Alzate y Ramírez y los dos examinaron las zonas donde podían existir con mayor probabilidad depósitos de mercurio en Nueva España. Estas prospecciones permitieron a Alzate elaborar un informe sobre el azogue y su método de extracción, e hizo diversas disertaciones en sus *Gacetas* sobre los problemas de suministro de mercurio a las minas de plata.

Por otra parte, Andrés Manuel del Río enriqueció la Geología en Nueva España con sus estudios sobre mineralogía y la publicación en 1795-1805 de *Elementos de Orictognosia*, del cual se ha publicado una edición facsimil en el año 1992, por la Universidad Nacional Autónoma de México a cargo del profesor Raúl Rubinovich Kogan, quien hizo un estudio introductorio.

## Química y Geología en Nueva España

A finales del siglo XVIII junto con la *revolución química* llega a Nueva España, la teoría de Juan Bautista van Helmont: *la verdadera sustancia primaria era el agua*, y como en Nueva España había muchas fuentes termales y se les atribuían virtudes curativas, este virreinato no fue ajeno a este movimiento científico.

Por otra parte, en 1779 el médico francés *Juan Durrey* afincado en México, preparaba medicamentos en su casa, siguiendo la doctrina Iatroquímica.

Pero el desarrollo de la Química en Nueva España durante el período colonial, está vinculado al progreso de la metalurgia y su aplicación en la minería. Ejemplo de lo dicho es la obra de *Francisco Javier Alexo de Orrio* (jesuita español), *Metalogia o physica de los metales. En que se procuran descubrir sus principios y afecciones conforme a las más sanas reglas de la experiencia, dirigida al mejor logro de la minería de Las Américas*, cuyo original se conserva en la Biblioteca Nacional de la ciudad de México, en la sección de manuscritos, MS, 1546. Es un tratado prolijo de Química, Física, Geología y Metalurgia, donde el autor, con experiencias personales y consulta de las obras más avanzadas de la época, explica el proceso de amalgamación de plata, y se mostraba de acuerdo con la definición de elemento de Robert Boyle como *la sustancia básica que formaba parte de la materia y no se dividía*.

*Alexo de Orrio* opina que el poco adelanto habido en los procedimientos de metalurgia en Nueva España, se debía a la falta de experiencia en química experimental. Así, Alexo considera importante analizar detenidamente los aspectos geológico y minero, es decir, la formación de las vetas, y los efectos de erosión que produce el agua de los ríos en los sedimentos y capas de los depósitos. Sus estudios le permitieron emitir la hipótesis de que las vetas metálicas estaban formadas a partir de ríos subterráneos que arrastraban partículas de distinto peso, lo que favorecía que las sustancias metálicas quedasen agrupadas en largos estratos diferenciados, los cuales, al ser más densos, quedarían por debajo de las capas del material más ligero.

Aunque explicó Alexo de Orrio la calcinación por la teoría del flogisto, en boga por aquella época, vio que las causas de la unión de plata con mercurio y sal se podían comprender con el sistema de Afinidades Químicas de *E.F. Geoffroy*. De este modo pudo explicar la amalgamación por una atracción de carácter magnético y eléctrico que conducía a una reacción química. Ello hizo que se desechara la idea de la *simpatía entre plata y mercurio* por considerarla absurda.

Por otra parte, de Orrio hizo experiencias sobre la dilatación y la compresión de los metales y, al relacionar los resultados con la plata y el mercurio en la amalgamación, pudo determinar las condiciones óptimas de temperatura y volumen que debían darse en el proceso.

Asimismo, describió el efecto catalítico de la temperatura en la amalgamación, y tomando como referencia el azogue, le permitió analizar la

licuefacción de los metales y las distintas temperaturas críticas a las que ocurría, atribuyendo la congelación a la pérdida de calor.

El estudio detallado de la amalgamación resultó novedoso, y aportó modernidad a la química aunque permaneciera influido por la doctrina alquímica.

El celo investigador de Alexo de Orrio le llevó a indagar sobre posibles yacimientos de mercurio en Nueva España, y pudo concluir que los de Zacatecas podían resultar rentables y explotables sin mucha dificultad.

Otro autor importante fue *José de Alzate y Ramírez* quien, siguiendo las teorías de *Stahl* y *Becher*, recomienda usar carbón como agente reductor para tratar los minerales de Plata, y a este respecto escribió: *Prepárense los metales de Plata en el método que se usa para convertir el Hierro en Acero, surtiéndolo el flogisto por medio del Carbón reducido a polvo y creo se conseguirá mucha más Plata.*

Esto explica el hecho de que, aunque admiró la obra científica de Lavoisier guardó reservas respecto a la validez de su sistema y permaneció anclado en la teoría del flogisto y en la anárquica nomenclatura antigua.

Sin embargo, en otros aspectos opinó con gran sagacidad, como cuando explicó que las causas de las frecuentes explosiones en la fábrica de pólvora eran debidas a la unión de azufre con partículas de hierro llevadas accidentalmente al sitio donde aquel se encontraba y que con cierta humedad se encendían espontáneamente.

Las nuevas teorías químicas llegan a Nueva España a partir de 1790, y son aceptadas sin gran dificultad y con rapidez por la mayoría de los científicos.

En 1793, *Vicente Cervantes* en la lección de apertura de un curso de Botánica, habló por primera vez del dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno como gases diferenciados. También se conocían en estas tierras americanas, las experiencias de *Cavendish* acerca del hidrógeno y oxígeno como elementos componentes del agua.

El libro de *Antoine Laurent de Lavoisier*, *Traité élémentaire de Chimie*, era conocido por Cervantes y sus discípulos de la Cátedra de Botánica quienes adoptan la nueva nomenclatura química dada por Lavoisier, y siguen las pautas modernas para clasificar los ácidos, bases y sales provenientes de las plantas.

Con la aparición del libro de Lavoisier, los científicos mexicanos eliminaron el concepto del flogisto cuando se referían a la calcinación de los metales, y adoptaron el criterio que de la combustión describió Lavoisier.

Simultáneamente a la labor de los botánicos en la difusión de la química moderna en México, está la llevada a cabo por el Real Seminario de Minería fundado en la ciudad de México en el año 1792, el cual marca un momento crucial en la Historia de la Ciencia y la Tecnología de ese país, al difundir por primera vez las ciencias modernas especializadas.

El año 1797 el director del centro *Fausto Delhuyar y Lubice* impartió el Primer Curso de Química y sobresalieron dos alumnos, *Casimiro Chowell* y *Andrés Ibarra*, quienes en el acto público de final de curso disertaron, entre otros asuntos, de la clasificación de los minerales establecida por Lavoisier.

En el segundo Curso, en 1798, los alumnos estudiaron el libro *Tratado elemental de Química*, de Lavoisier, en la primera edición mundial en español que se imprimió en México en 1797. Con este texto trataron de las sustancias simples y compuestas, del fenómeno de oxidación de los metales, y de la disolución de éstos en los ácidos. También conocieron la nueva nomenclatura de ácidos, álcalis y sales y las afinidades entre unos y otros.

En 1799 *Lindner* explicó las teorías de *Törbern Bergman* sobre *Afinidades Selectivas* y del efecto del calor en las mismas, aclarando asimismo la noción de *elemento*.

*Alexander von Humboldt* que colaboró con *Lindner* en las prácticas de laboratorio, durante su estancia en México en 1803, llegó a decir que los principios de la nueva Química están más extendidos en México que en muchos países europeos. Por ejemplo, los jóvenes mexicanos podían explicar razonadamente la descomposición del agua durante la operación de amalgamación al aire libre. También en este laboratorio se hicieron las primeras marchas analíticas cualitativa y cuantitativa.

Podemos decir que en Nueva España se dedicaron con mucho mayor empeño a la Química y Geología que al de las Lenguas y Literaturas antiguas.

Según menciona *Humboldt*, *Lindner* creó el primer laboratorio mexicano de Química moderna, porque los que tenían las escuelas de jesuitas o los que dispusieron *Alexo de Orrio* o *Diaz de Gamarra* estaban equipados al modo más tradicional, mientras que el laboratorio de *Lindner* disponía de:

- Aparatos para obtener oxígeno e hidrógeno a partir de agua.

- Balones de Priestley.
- Eudiómetros, entre los que había uno eléctrico de Volta.
- Balanzas, alambiques, crisoles, morteros, evaporadores, etc.

La influencia de los cursos impartidos en el Real Seminario de Minería desde 1797 hasta 1804 se dejó sentir en la labor de algunos médicos como *José Luis Montaña*, quien decía que el hombre en sus funciones fisiológicas estaba determinado por leyes físicas, mecánicas, hidráulicas y químico-neumáticas. Además, los agregados de este Centro se mostraron partidarios de las teorías de Lavoisier y asignaban al oxígeno un papel relevante en la formación de ácidos y bases, en coincidencia con las teorías elaboradas por Lavoisier.

### **Métodos de amalgamación aplicados en Nueva España durante el siglo XVIII**

*Lorenzo Felipe de la Torre* publicó el tratado titulado *Beneficio de la Colpa*. Se entiende por *colpa* la tierra de caparrosa natural, que resulta de la alteración de las piritas cobrizas, [sulfato de hierro (II) epta hidrato, también llamado vitriolo verde].

En este proceso se intentaba sustituir el *magistral*, (mineral de cobre piritoso), por la *colpa*, pero no servía una cualquiera sino la que acompaña a los minerales de plata formando veta separada.

Había que utilizar sal y *colpa* en cantidades equimoleculares. La novedad principal era el procedimiento de lavado para ahorrar azogue, para ello se colocaba la pella de plata seca y bien exprimida o deshecha en arena o relaves.

Este método fue empleado en las minas de Zacatecas y otros centros mineros de Nueva España.

La obra de *Lorenzo de la Torre* fue mencionada por el *Padre Feijoo* en sus *Cartas eruditas* cuando dijo *...poseía gran carácter teórico y demostraba un buen conocimiento de filosofía corpuscular y de la espargyrica que brilla en toda su obra...*

En 1758 *Juan Ordoñez Montalvo*, sacerdote y director de las minas del Real del Monte, hizo ensayos en la finca de San Miguel y los mismos le permitieron idear un nuevo modo de amalgamar que denominó *Beneficio de estufas de Juan Ordóñez* que consistía en utilizar sal, azogue y *magistral* y

aplicar unas estufas para acelerar el proceso y reducir la pérdida de azogue, pero el método resultó muy costoso.

La operación comenzaba con la preparación de montones con mineral de plata, sal y magistral mezclados que se metían en la estufa con la precaución necesaria, para que el lodo no taponara las bocas de los hornitos interiores de las estufas, y, seguidamente, se dejaba reposar durante dos días, para que surtiera buen efecto el calor de la estufa.

Este modo de beneficiar el mineral argentífero se ensayó en las minas novohispanas de Guanajuato, Sultepec, Temascaltepec y Pachuca.

No obstante, y como veremos más adelante, *Garcés y Egúa* comentó que aunque el calor de la estufa aminoraba el tiempo necesario para efectuar el beneficio, no compensaba su mayor coste, aunque Ordóñez no compartió esa opinión.

Otro modo de amalgamar plata y aplicado en las minas de europeas fue el de *Ignaz von Born (Barón de Born)* en el año 1780, conocido como, *método de Born*, o *de barriles de Born*, del cual se hizo eco *M.J. Girardin*, (médico francés), en su obra *Chimie élémentaire*, publicada en 1786.

El método, según podemos leer en la versión francesa que ha llegado hasta nosotros, consistía en que, ... *una vez molidas las menas se calcinan a fuego moderado, añadiendo a la mena calcinada una porción de agua en calderos de cobre, se deja macerar durante uno o dos días en paraje caliente, agitándolo bien de vez en cuando, para mezclarlo luego con sal común antes de echar el azogue.*

En el año 1792 *Gellert y Ruprecht* modificaron el método de Born, agregando trocitos de Hierro forjado. Si bien esta modificación no es completamente nueva, porque en 1587, *Juan y Andrea Corzo* establecieron en Perú el beneficio con limaduras de hierro.

### Teorías de amalgamación en el siglo XVIII

*Fausto Delhuyar y Lubice* en *Disertaciones Metalúrgicas* describió algunos de los experimentos que hizo en la ciudad alemana de Freiberg durante los años 1787 y 1788, publicándolos; y en 1791, *Joseph Louis Proust* en los *Anales del Real Laboratorio de Química de Segovia*, Tomo I-(1791-1795) dedica un capítulo a trabajos sobre la *plata córnea también denominada*

*clorargirita o querargirita titulado Extracto de los descubrimientos de Don Fausto Delhuyar.*

Delhuyar, posteriormente, publicó sus ensayos en tres revistas alemanas: *Theorie der Amalgamation*, *Bergbaukunde*, I, pp. 238-263; II, pp. 200-296, *Einzelne Beitrage zu den Amalgamationsprozessen*, *Bergbaukunde*, I, pp. 264-282; II, pp. 199-221; 410-441, y en *Bergm. Journal*, VII, 1778, pp. 573-693; 1789, p. 825. También en una carta, fechada el 24 de septiembre de 1786 dirigida al *Dr. Casimiro Gómez de Ortega*, trataba sobre el nuevo método de amalgamación, la cual se publicó en el *Boletín del Instituto Geológico y Minero de España*, del año 1933, Vol. LIII, por *De Galvez Cañero* con el título, *Apuntes biográficos de D. Fausto Delhuyar y de Lubice*.

El método del barón de Born empleado en Hungría, mostró ventajas considerables comparado con el que se utilizaba en América. Ello despertó en Delhuyar curiosidad y deseo de conocerlo en detalle y viajó al país magiar en junio de 1786, donde tuvo la oportunidad de visitar las minas de Glashütte, cerca de Schemnitz, y estudiar el método *in situ* a gran escala, que era como allí se practicaba, pareciéndole desde el principio de una regularidad y una exactitud sorprendentes. (Como en este artículo no podemos extendernos sobre este tema, remitimos al lector interesado a la abundante bibliografía que se ha publicado sobre el método de Born y su repercusión en la minería americana).

Respecto a la teoría química del proceso, no todos los metalurgistas reunidos en Glashütte estaban de acuerdo, porque unos consideraban que la plata se encontraba inalterada y siempre en estado perfecto tanto en los minerales como en los productos de los distintos tratamientos; ya que la calcinación servía únicamente para librarlos de la materia en cuyo interior se hallaban escondidos, poniéndolos así en contacto con el mercurio que los recogería durante la trituración.

Por el contrario, otros admitían que la plata era susceptible de transformarse en óxidos durante la tostación, de modo más o menos perfecto y que en contacto con cloruro de sodio se debía reducir, al menos parcialmente, a sales y que en la trituración del mineral tostado, el mercurio se apoderaba de la parte disuelta por los ácidos descomponiendo las sales formadas por vía de dobles afinidades, como ocurre en toda precipitación de metal disuelto en un ácido por otro metal.

Delhuyar se mostró partidario de esta última teoría, aunque creía necesario realizar algunos experimentos más, para comprobar y refrendar estas afirmaciones. También Delhuyar, cuando estudió la acción del ácido clorhídrico sobre la plata y para explicar la solubilidad de ésta en presencia de

cloruro de sodio y para apoyar su interpretación del proceso de Born, advirtió de la formación de un compuesto con sodio, que es el que hoy conocemos como, dicloro argentato (I) de sodio,  $\{Na[AgCl_2]\}$ . Asimismo, Delhuyar fue uno de los primeros en estudiar las características del cloruro de plata respecto a su alteración por la luz.

Por otra parte, Delhuyar -que también era Director desde 1788 de la política minera en Nueva España- informó, en 1789, que debido a las características del mineral de las minas de Guanajuato, las desventajas que presentaba el método de Born desaconsejaba su aplicación.

### *Teoría de Inaz von Born (1786)*

Según *Born*, el azufre de la mena argentífera se transformaba por la acción del fuego en ácido sulfúrico, en sulfato de sodio y en cloruros con los elementos que abandonan el ácido sulfúrico y que son solubles en agua, quedando el mercurio dispuesto para amalgamarse con la plata.

*Garcés y Eguía* se percató de que el Barón de Born fue el primero en explicar los efectos de la sal en el proceso de extracción de plata, atendiendo a los verdaderos principios de la química y por ello expuso lo siguiente:

A)<sup>1</sup> Cuando *Born* afirmó que el ácido sulfúrico puede destruir la película que se forma sobre el azogue, porque se dio cuenta que desaparecía el impedimento para un buen contacto con la plata, con lo que se explicaba porqué los "negrillos", (menas metálicas con muchas impurezas), requieren más cantidad de magistral y menos sal que otros minerales.

B) Al ver *Ignaz von Born* que la plata queda libre de las telículas producidas por las sustancias volátiles y de las sales metálicas por la acción del ácido clorhídrico, y que el mercurio se libera de la cutícula que lo cubre por acción del ácido sulfúrico, dijo que no hay más que procurar que la plata entre en contacto con el azogue, *porque la plata conserva entre los minerales todas sus dotes metálicas*.

También *Garcés* cuando expone su propio criterio dice que lo correcto es pensar que:

"la plata puede oxidarse o estar mineralizada, por lo que es necesario desoxidarla, para que restituída a la forma metálica, pueda combinarse con el azogue, al que no se unen las sales u óxidos metálicos. Y continúa suponiendo que ...el ácido clorhídrico solo se combina con los metales que se encuentran unidos a la plata, que el agua arrastra a los cloruros solubles de hierro y de cobre y que la

plata desprovista de sus sustancias metálicas se combina libremente con el azogue".

Para *Humboldt* la explicación de *Garcés* no está de acuerdo con las leyes de las afinidades y puntualizó

"... si el cloro desprendido por la acción de los sulfatos sobre el cloruro de sodio actúa sobre un mineral cualquiera de plata, en circunstancias parecidas a las de amalgamación por el Método de Patio del sevillano *Bartolomé de Medina*, se formará necesariamente cloruro de plata y cloruros de otros metales".

Y termina *Humboldt* diciendo que la teoría de *Garcés* y *Eguía* no es aplicable a la amalgamación de los minerales de sulfuro de plata que son precisamente los más abundantes en las minas argentíferas de Nueva España.

### Principales minas de plata en Nueva España en el siglo XVIII

La aparición de centros mineros indujo la creación de ciudades alrededor de ellos, la ciudad actual de Chihuahua es un buen ejemplo de ello.

En 1703 se descubre la mina de *Santa*, cuya primera excavación se llamó *El Caballo*, que, unida posteriormente a las de *San Matias*, *Dolores*, *la Vieja* y *San José*, ofrecieron extraordinarios resultados en sus comienzos.

En Guatemala, hacia 1738, se descubrieron las minas de *San José de Alotepec*.

Las minas *Zacatecas* se comienzan a explotar en 1546 y durante el siglo XVIII sigue su curso normal, aunque las inundaciones le hacen pasar por periodos de bajo rendimiento.

Las minas de *Guanajuato*, que fechan sus comienzos en 1548, tienen unos 30 Km desde el socavón de Arizona hasta las vertientes del arroyo del Cubo o Marisánchez. Estas célebres y productivas minas fueron descubiertas por unos arrieros, cuando advirtieron la existencia de una mena de plata entre las piedras con que rodearon el fuego que hicieron para cocinar sus alimentos.

Contiene este centro minero, junto con diversos minerales argentíferos, plata nativa y en algunas vetas la proporción oro/plata es 1/100.

En general, el conjunto de los centros mineros de Guanajuato estaba bastante decaído a mediados del siglo XVIII por la inundación que sufrieron sus pozos profundos.

Según Andrés de Tapia las minas de *Pachuca* comienzan a explotarse en 1552 después de ser descubiertas por *Constantino Bravo de Lagunas*. La mina *Ciciliana* fue una de las primeras que se trabajaron, llamada así porque el primero en extraer su mineral fue el artillero *Juan Ciciliano*, (quien llegó como integrante de las huestes de *Hernán Cortés*), aunque este socavón se hundió cuando se trabajó con mayor continuidad.

En el libro anónimo *Descripción de las minas de Pachuca* se hace referencia al descubrimiento de las minas del Real del Monté, por *Alonso Perez de Zamora* en 1552. Y en 1749 se comenzó la explotación en una veta muy rica, que se denominó Vizcaina.

En esta ciudad pachuqueña y en la mina *Purísima Grande* fue donde *Bartolomé de Medina*, en diciembre de 1555, obtuvo por primera vez plata por amalgamación a gran escala.

Las vetas de las minas de Pachuca contienen plata nativa, óxidos de hierro con cloruro, bromuro y sulfuros simples de plata, presentando en muchos casos una zona superficial con plata nativa.

En 1555 se descubrieron minas de alta ley en plata en *Temascaltepec*, y se establecieron pronto 18 haciendas de beneficio, que, junto con los Reales de *Taxco* y *Sultepec*, seguían aportando buenos minerales argetíferos durante el siglo XVIII.

Las minas de *Tlalpujahuá* iniciaron sus explotaciones en 1743 en la veta llamada *de Coronas*, que, junto con la mina *Borda* (nombre debido a *José de la Borda -minero de Taxco- que fue el primero en explotarla*, y sus descendientes), siguieron sus trabajos consiguiendo muchas ganancias hasta comienzos del siglo XIX.

Las minas de *Mazapil* siguieron un curso normal durante el siglo XVIII, aunque sus menas tenían menos mineral que otras ya comentadas. En cambio, las de *Sombrerete* y *Fresnillo* habían decaído a mediados del siglo XVIII.

Las minas de *Pastrana* o *Pastreña de Batopilas* tuvieron entre los años 1730 y 1750 una gran bonanza.

El Real de *Alamos*, antigua capital del estado de Sinaloa, fue en un tiempo abundante en plata, pero decayó su producción por anegación de sus pozos en 1736.

Desde 1746 se explotaron intensamente las minas de *Bolaños* (estado de Jalisco) porque tenían ricas vetas de plata. La importancia de este centro minero llegó a ser tanta que incluso tuvo cajas reales, indicativo de una gran potencia económica.

Las minas del *Parral*, pujantes durante los siglos XVI y XVII, sufrieron frecuentes inundaciones a mediados del XVIII y ello hizo que fueran parcialmente abandonadas.

Las minas de *San Luis de Potosí* fueron muy productivas por los socavones *Descubridora* y *Santa Francisca* que fueron muy ricos durante la primera mitad del siglo XVIII.

Los asentos de *Ibarra*, aunque abundantes en 1714, se abandonaron en 1760.

El mineral de *San Miguel*, en la *Pimeria Alta* fue muy rico y abundante en plata aurífera hasta el año 1754.

### **Un proyecto fallido de vasijas de hierro para el transporte de azogue a América**

En el siglo XVIII surgieron problemas con las vasijas de hierro que se utilizaban en el transporte de azogue desde España hasta América. Con la intención de solucionar esas dificultades, *José Pizarro* proyectó fabricar vasijas de hierro en provincias vascas, y consiguió una subvención económica de la Real Hacienda.

Pero, poco después, otros fabricantes de vasijas para llevar mercurio denuncian ante el Rey el proyecto de Pizarro, por considerarlo inadecuado y muy perjudicial para la economía del país, y consiguieron una Real Orden para que la industria montada por Pizarro cierre y, por tanto, no se le concediera más dinero público. Ellos se basaban en que no se correspondía la realidad con las promesas halagüeñas de Pizarro.

Para llevar a efecto esa real orden, se comisionó a Miguel Basterra para que hiciera un inventario de los envases, que hay disponibles en las fábricas que Pizarro tenía en Eibar, Alzola, Deva y Bermeo y se contabilizaron que entre noviembre de 1792 y agosto de 1793 había: 46.858 vasijas, 13.142 tornillos, 13.142 tapas y 13.142 fondos de vasijas. Además, existían manivelas para aflojar tornillos, ganchos de hierro para facilitar el manejo de las vasijas, y un torno de hierro grande (como los que usan los cerrajeros con

su manetilla) para sacar los tornillos que se rompían al intentar sacarlos de la vasija.

A su vez José Pizarro declaró que cada vasija contiene una chapa, una tapa, un fondo y un tornillo. Con todo contabilizado y resueltas las diligencias, acuerdan los comisionados declarar que Pizarro debe reponer 1.799 fondos, 1.891 tapas y 436 tornillos que faltaban en el inventario realizado y que se embarquen junto con las vasijas destinadas a América.

De las cuentas realizadas, y teniendo presente todos los documentos justificativos presentados por José Pizarro, el juez comisionado al efecto manifiesta:

"En vista del perjuicio que se ha derivado para la Real Hacienda, por la cantidad invertida en dicha fábrica de vasijas, Pizarro debe reintegrar a la Hacienda de S.M. 413.613 libras y 8 onzas; además de 1.462 libras, que es el importe de 2.266 libras de hierro que no consumió en la hechura de vasijas; 689 libras correspondientes a 344 libras de acero que no están debidamente acreditadas y 18.346 libras, que es lo que vale el acero comprado, y que no hay constancia de él".

Con este resultado nada satisfactorio para Pizarro y para la economía de la Corona, se dio por terminado este proyecto para construir vasijas donde transportar azogue a las minas americanas. Este affair hay que encuadrarlo en el interés que levantó, en todos los órdenes empresariales, la minería y en concreto el proceso de amalgamación para obtener plata, donde unos terminaron favorablemente y otros no.

### **Algunos de los descubrimientos del siglo XVIII que influyeron en la Minería**

A continuación, vamos a describir cronológicamente los descubrimientos y estudios más sobresalientes que tuvieron una especial influencia en el desarrollo de la minería y metalurgia durante el siglo XVIII.

Hacia el año 1702, el químico y médico alemán *G.E. Stahl* propuso la

"teoría del flogisto: ... en toda combustión se desprende el flogisto con acompañamiento de luz y calor, quedando un residuo que era la ceniza del cuerpo combustible".

Pero *Lavoisier*, en 1775, demostró que el oxígeno era imprescindible para la combustión, y refutó la teoría del flogisto resumiendo su teoría en tres postulados:

1. *Los cuerpos arden sólo en aire puro.*
2. *El aire es consumido en la combustión y el aumento de peso del cuerpo que se quema es igual a la pérdida de peso del aire.*
3. *El cuerpo combustible se transforma gradualmente en combinación con aire puro en ácido, menos los metales que dan sales metálicas.*

Priestley calentando óxido de mercurio rojo, (*mercurius calcinatus per se*), obtuvo un gas al que llamó *aire desflogistizado*, luego se vería que era oxígeno y supuso una resolución pneumática de la química.

No obstante, la teoría del flogisto tuvo el mérito de ser la primera en coordinar el conjunto de fenómenos esenciales en la combustión, y a contribuir a que la química tomara entidad como ciencia independiente.

En el ámbito de la metalurgia nos encontramos que *A. Darby*, hijo de un herrero, construyó el *primer alto horno* y empleó por primera vez el carbón de coque.

En 1718, *Etienne St. Francoise Geoffrey* elaboró las primeras tablas de *afinidades*, donde se indica el orden en que se desplazan los cuerpos simples en sus combinaciones. Como sabemos fue San Alberto Magno ya en el siglo XIII quien dio por primera vez en la historia el concepto de *afinidades*, aunque no con la minuciosidad de *Geoffrey*. El concepto de *afinidades* fue muy utilizado para elaborar las teorías de amalgamación de plata, como hemos visto antes.

En Hannover murió, en el año 1716, *G.W. Leibniz* a los 70 años, dejando para la posteridad una *bomba para la extracción de agua en las minas*.

En 1734, *E. Swendenberg* publicó el primer manual de metalurgia,

*Antonio de Ulloa*, matemático y marino sevillano, en 1738 da noticias del descubrimiento en las arenas del río Pinto (hoy en Colombia) de un nuevo metal, el *platino*.

*Black*, en 1755, descubrió el *magnesio* y demostró que el dióxido de carbono se forma calentando mineral o madera, con ello une los mundos animados e inanimados tan diferentes en lo que se llamaba química orgánica y química inorgánica.

El ingeniero americano *O. Evans* trabajó con calderas de vapor a presión relativamente alta e inventó un *elevador para transportar cargas en molinos*, y, como resultó muy útil en las minas, se extendió en ellas a partir del año 1780.

En el mismo 1780, *Reignier* fabricó a mano *cables de acero* que fueron después muy utilizados en minería para subir y bajar a los pozos. *Röder* fue el primero en usarlos.

*J. Watt*, ingeniero escocés, que desde 1763 venía estudiando la máquina de vapor, construyó en 1769 un *condensador separado del cilindro* que, unido a un engranaje y a un volante, podía desarrollar movimiento rotatorio. En 1781 fabricó una caldera de forma rectangular llamada por ello, *máquina de vapor de cajón*. En 1784 inventó el *varillaje en paralelogramo* y construye el *regulador centrífugo* para mantener constante el número de rotaciones por unidad de tiempo y posibilitando la generación de trabajo. Una aplicación de esta invención es la que hizo Watt con un *martinete de vapor*, pero fue a partir de 1787 cuando la máquina de vapor se comenzó a emplear en la industria textil.

Aunque con Watt alcanzó la máquina de vapor su madurez en cuanto a la aplicación en la industria, *R. Trevithick* construyó en 1798 otra *máquina de vapor para trabajar a altas presiones* que fue aplicada universalmente. Asimismo, Watt idea una nueva máquina de vapor de hierro y un año después, *W. Murdock* inventó un *distribuidor de vapor* para este tipo de máquinas que permitiera el control automático de las válvulas. Las aplicaciones prácticas más importantes de la máquina de vapor en minería son: la evacuación de agua de las galerías profundas y elevación, transporte y extracción de materiales.

En 1789, *Agustín de Betancourt* y *Molina* desarrolló una *máquina de vapor de doble efecto* para aprovechar el carbón mineral. Su principal aplicación comenzó en las minas de Almadén(Ciudad Real).

En la última década del siglo XVIII hay una serie de descubrimientos y experiencias que dieron un gran impulso a la Química, por ejemplo, *S. Keir* en 1790 ideó una nueva *protección contra la oxidación*.

*N. Leblanc* (1791), dio a conocer la *fabricación industrial de la sosa*, y *J. Wilkinson*, en 1794 creó un *horno de cúpula o cubilote*.

Por último, reseñaremos que *Alexander von Humboldt*, en 1799, construyó una *máscara de aire fresco para los mineros*. Con esta invención se facilitó y se hizo más llevadero el trabajo en los pozos de las minas, porque se

podía permanecer más tiempo en zonas que tenían poca cantidad de aire, sin alto riesgo para la salud de los mineros.

## BIBLIOGRAFIA

BARBA, A.A. (1977) *Arte de los Metales*. Reproducción facsímil de la tercera edición impresa en Madrid en el año de 1770. Riotinto (Huelva), Unión Explosivos Riotinto, S.A.

BARGALLO, M. (1955) *La minería y la metalurgia en la América Española durante la época colonial*. México D.F., Fondo de Cultura.

BARGALLO, M. (1966) *La Química Inorgánica y el beneficio de los metales en el México prehispánico y colonial*. México D.F., UNAM.

BARGALLO, M. (1969) *La Amalgamación de los minerales de plata en Hispanoamérica colonial*. México D.F., Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey.

BETANCOURT DE, A. (1990) *Memorias de las Reales Minas de Almadén*. Madrid, Secretaría General del Plan Nacional de I+D, Comisión Interministerial de Ciencia y Tecnología.

BOWLES, G. (1982) *Introducción a la Historia Natural, y a la Geografía física de España*. Reproducción facsímil de la edición de 1775, Madrid, Ediciones Poniente.

BRADING, D.A. (1917) *Miners and Merchants in Bourbon Mexico, 1763-1810*. Cambridge, Cambridge University Press.

CAPITAN VALLEY, L.F. (1994) "The Spanish monopoly of platina". *Platinum Metal Review*, 38(1), 22-31.

CASTILLO MARTOS, M. (ed.) (1994) *Minería y Metalurgia: Intercambio tecnológico y cultural entre América y España durante el período colonial español*. Sevilla, Muñoz Moya y Montraveta editores.

CASTILLO MARTOS, M. y LANG, M.F. (1995) *Metales preciosos: Unión de dos mundos. Tecnología, Comercio y Política de la minería Iberoamericana*. Prólogo de José Rodríguez de la Borbolla Camoyán. Sevilla, Editorial Muñoz Moya Montraveta.

FISHER, J. (1985) *Commercial relations between Spain and Spanish America in the era of free trade, 1778-1796*. Centre for Latin-American Studie, University of Liverpool.

GAMBOA, F.J. (1761) *Comentarios a las Ordenanzas de Minas*, Madrid, Imprenta de Joaquín Ibarra.

GARCIA-BAQUERO GONZALEZ, A. (1986) *Andalucía y la carrera de Indias (1492-1824)*. Biblioteca de la Cultura Andaluza Sevilla.

HEREDIA HERRERA, A. (1978) *La renta del azogue en Nueva España: 1709-1751*. Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericano.

HUMBOLDT, A. (1991) *Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España*. México D.F., Porrúa.

LANG, M.F. (1978) *El Monopolio estatal del mercurio en el México colonial 155-1710*. México D.F., Fondo de Cultura Económica.

LANG, M.F. (1986) "El Derrumbe de Huancavelica en 1786. Fracaso de una reforma borbónica". *Histórica*, 10(2), 213-226.

LANGUE, F. y SALAZAR, C. (1993) *Diccionario de términos mineros para la América española (siglos XVI - XIX)*. París, Editions Recherche sur les Civilisations.

MAFFEI, E. y RUA FIGUEROA, R. (1970) *Apuntes para una biblioteca española de libros, folletos y artículos, impresos y manuscritos, relativos al conocimiento y explotación de las riquezas minerales y a las ciencias auxiliares*. Edición facsímil de la publicada en 1872 por la imprenta de J.M. Lapuente de Madrid. VI Congreso Internacional de Minería. León, Departamento de Publicaciones, Cátedra San Isidoro.

MANSILLA PLAZA, L. (1992) "Minería de Almadén. Influencia en la minería hispanoamericana de finales del siglo XVIII". *Industria Minera*, 317, 35-41.

MCDONALD, D. y HUNT, L.B. (1982) *A History of Platinum and its Allied Metals*. Londres, Johnson Matthey.

MORINEAU, M. (1985) *Incroyables gazettes et fabuleux métaux. Les retours des trésors américaines d'après les gazettes hollandaises (XVIe-XVIIIe siècles)*. Cambridge, Paris-Cambridge Press.

MURILLO VELARDE, P. (1990) *Geographia de América (1752)*. Edición facsímil de la publicada en Madrid en 1752 con el título *Geographía Histórica de la América y de las Islas Adyacentes y de las Tierras Arcticas y Antárticas, y Islas de los Mares del Norte y Sur*. Granada, Universidad de Granada, Colección *Archivium V Centenario*.

NISSER, P. (1990) *La minería en la Nueva Granada*. "Colección Bibliográfica". Bogotá, Banco de la República de Colombia.

PALACIOS REMONDO, J. (1993) *Biografía de Los Delhuyar*. Logroño, Consejería de Cultura del Gobierno de la Rioja.

PEREZ-MALLAINA BUENO, P.E. (1982) *Política naval española en el Atlántico 1700-1715*. Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos.

PIEPER, R. (1990) "The European Discovery of the World and its Economic Effects on Pre-Industrial Society, 1500-1800". *Papers of the Tenth International Economic History Congress*. Stuttgart, Franz Steiner Verlag, 97-116

SANCHEZ FLORES, R. (1980) *Historia de la Tecnología y la invención en México*. México D.F., Fomento Cultural Banamex A.C.

SOLANO, F. (1987) *Antonio de Ulloa y la Nueva España*. México D.F., UNAM.

SONNESCHIDT, F. (1825) *Tratado de la amalgamación de Nueva España*. París.

ULLOA, A. *Noticias Americanas*. Edición facsímil de la publicada en Madrid en 1772 con el título *Noticias Americanas: Entretencimientos phisicos-Historicos sobre la América Meridional, y la Septentrional Oriental*. Granada, Universidad de Granada, Colección *Archivium V Centenario*, 1992.

VILCHIS, J. y ARIAL, V. (1982) *Ciencia y técnica entre viejo y nuevo mundo, siglos XV-XVIII*. Madrid, Ministerio de Cultura.