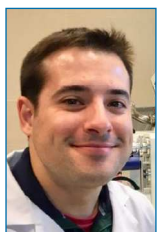


HISTORIA
DE LA
QUÍMICA

Un paseo por la historia del mercurio. Almadén y sus minas reconocidas como EuChemS Historical Landmark 2019



A. M. Rodríguez¹



Á. Hernández Sobrino²



M. Zarzalejos Prieto³



M. Castillo Martos⁴



R. C. Rodríguez
Martín-Doimeadios⁵



M. A. Herrero Chamorro⁵

Antonio M. Rodríguez García , Ángel Hernández Sobrino, Mar Zarzalejos Prieto , Manuel Castillo Martos, Rosa del Carmen Rodríguez Martín-Doimeadios y M. Antonia Herrero Chamorro

Resumen: Gracias al reconocimiento otorgado a Almadén y sus minas por parte de EuChemS, Europa va a señalar en su mapa una región que ha vivido por y para el Mercurio. Este metal tiene mucha historia e interés, tanto en el sector químico como en muchos otros, y ha dado vida a momentos y monumentos espectaculares que te recomendamos que conozcas y visites. Para que cuando vengas a Almadén puedas disfrutar plenamente de este enclave fantástico, te recomendamos que leas este artículo, donde queremos que pases previamente por su historia y conozcas por qué y para qué está ahí el mercurio y que comprendas cómo ha sido fundamental en esta región y en su vida, el tener este metal en sus tierras. Inicialmente en esta contribución se describe qué significa este reconocimiento y cómo y cuándo se otorgó. De igual forma se presentan unas fantásticas contribuciones de cuatro expertos que nos permiten vivir y entender mejor una historia que se debe conocer y en la que la química y otras ciencias fundamentales han estado y estarán siempre presentes.

Palabras clave: Almadén, mercurio, mineros, minas, EuChemS Historical Landmarks

Abstract: Thanks to the recognition given to Almadén and its mines by EuChemS, Europe will mark on its map a region that has lived by and for Mercury. This metal has a lot of history and interests both at a chemical level and in many other sectors and has given life to many spectacular moments and monuments that we recommend you to know and visit, but so that when you come you can fully enjoy this fantastic enclave we recommend you to read this article, where we want you to walk previously through its history and know why and for what is mercury there and to understand how it has been fundamental in the region and in its life, having this metal in its lands. Initially, this contribution describes what this recognition means and how and when it was granted, as well as some fantastic contributions from four experts that allow us to live and better understand a history that should be known and in which chemistry and other fundamental sciences have been and will always be present.

Keywords: Almadén, mercury, miners, mines, EuChemS Historical Landmarks

¹ IRICA – Fca. de Ciencias y Tecnologías Químicas, UCLM, Avda. Camilo Jose Cela s/n, 13071, Ciudad Real, España

² Minas de Almadén, Cerco San Teodoro s/n, 13400, Almadén, Ciudad Real, España

³ UNED, Edificio de Humanidades, Prehistoria y Arqueología. C/ Senda del Rey 7, 28040, Madrid, España

⁴ Universidad de Sevilla. Sevilla, España

⁵ Facultad de Ciencias Ambientales y Bioquímica, UCLM, Avda. Carlos III s/n, 45071, Toledo, España

C-e: Maríaantonía.herrero@uclm.es

Recibido: 12/11/2021.

Aceptado: 23/11/2021

ORCID: 0000-0002-4405-2406, ORCID: 0000-0003-0673-1894, ORCID: 0000-0001-6922-6460, ORCID: 0000-0002-8860-9325

Introducción

El pasado mes de septiembre, la Real Sociedad Española de Química se reunió con la Sociedad Europea de Química (EuChemS, www.euchems.eu) para celebrar el descubrimiento de la placa **EuChemS Historical Landmark 2019** (HLA 2019) en reconocimiento al papel que las minas de Almadén desempeñaron en la historia de la química y el patrimonio cultural europeo compartido.

Situadas en la provincia de Ciudad Real (en la comunidad autónoma de Castilla-La Mancha) en España, las minas de Almadén, visitadas el día anterior por los asistentes europeos, son una referencia mundial de un yacimiento histórico de extracción de mercurio. Este elemento es un metal relativamente raro, su extracción se realizaba en un número muy limitado de minas y Almadén ha sido uno de los mayores lugares de producción del mundo hasta hace poco. La minería de mercurio en esta zona tuvo un profundo impacto en la

industria minera a escala mundial. Así, las minas de Almadén constituyen un importante patrimonio sobre la evolución de los métodos científicos, tecnológicos y técnicos de la extracción de este elemento. El lugar también ha sido testigo de una larga historia de comercio de mercurio que ha generado intercambios intercontinentales a lo largo de los siglos. Las minas cerraron en el año 2000, pero siguieron siendo uno de los recursos de mercurio más extensos del mundo.

La historia de Almadén está estrechamente ligada a la de la mina y a la de las personas que trabajaban en ella. En el siglo XVIII se crearon la Academia de Minas y el Real Hospital de Mineros. El primero de estos edificios se erigió para “enseñar a los jóvenes matemáticos las relacionadas ciencias de Geometría Subterránea y Mineralogía”, mientras que el segundo proporcionó asistencia sanitaria a los operarios de las minas y a sus familias, convirtiéndose en una de las mejores instituciones asistenciales de la época. El sitio histórico de Almadén cuenta así toda la historia de la minería del mercurio en toda su complejidad. Desde hace varios años, el Parque Minero de Almadén comparte con éxito esta historia con sus visitantes tanto nacionales como extranjeros. Esta es la razón por la que el conjunto único y bien conservado de las minas de Almadén fue recomendado por unanimidad para el premio HLA en 2019.

Como es habitual en el programa *EuChemS Historical Landmark*, el acto comenzó con un simposio científico seguido del descubrimiento de la placa conmemorativa (Figura 1). Al acto asistieron diferentes representantes oficiales, tanto a nivel europeo como regional. En representación de EuChemS, el actual presidente, Floris Rutjes, presidió el acto acompañado por Pilar Goya, vicepresidenta, Nineta Hrastelj, secretaria general, y Laura Jousset, responsable de comunicación y política científica. Inició el acto el presidente de la Real Sociedad Española de Química (RSEQ, www.rseq.org), Antonio Echavarren, que aprovechó para referirse al potencial del turismo científico, “queremos que cuando se estudie el mercurio se piense en Almadén; proponemos a las familias que visiten estas minas, iniciando un turismo cultural y científico, e histórico, dada la importancia de estas minas en el desarrollo de España”. La RSEQ también estuvo representada por varios ex presidentes de esta sociedad y su secretaria general, Sonsoles Martín Santamaría, así como la sección territorial de Castilla-La Mancha de la RSEQ, representada por



Figura 1. Fotografía del momento de descubrimiento de la placa por parte del presidente de EuChemS.

su presidenta María Antonia Herrero Chamorro. Además, asistieron al acto el Rector de la Universidad de Castilla-La Mancha (UCLM), José Julián Garde López-Brea, el presidente de la Sociedad Química Portuguesa, Artur Silva, directivos de las minas de Almadén, así como el presidente de MAYA-SA. S.A., Emiliano Almansa, numerosas personalidades del ámbito científico y representantes municipales y regionales de la región de Castilla-La Mancha.

Durante el simposio, se dio paso a cada una de las conferencias programadas. En primer lugar, Ángel Hernández Sobrino, de minas de Almadén, con su conferencia ‘*El largo recorrido geológico del mercurio de Almadén*’ relató los orígenes geológicos de las minas y su relación con la actividad volcánica de la región. En segundo lugar, Mar Zarzalejos Prieto, de la Universidad Nacional de Educación a Distancia (UNED), se refirió a los ‘*Usos y símbolos: el cinabrio en la antigüedad hispana*’ explorando los capítulos más antiguos de la historia de la explotación y usos del cinabrio en la Península Ibérica desde la Prehistoria Reciente a la Antigüedad Tardía, con especial énfasis en su periodo de esplendor durante la época romana. Le siguió Manuel Castillo Martos, de la Universidad de Sevilla, con la charla ‘*Mercurio, elemento químico y algo más. Protagonista de la ciencia, la tecnología y la economía en la Edad Moderna*’, donde identificó por qué los compuestos inorgánicos y orgánicos del mercurio eran tan interesantes para los romanos para amalgamar el oro y no la plata y como protagonizó la metalurgia de minerales argentíferos americanos. Por último, Rosa del Carmen Rodríguez Martín-Doimeadios, de la UCLM, habló sobre ‘*Mercurio: ¿un elemento injustamente condenado?*’ describiendo cómo a pesar de que las características nocivas del mercurio son innegables, no es menos cierto que este elemento, con sus propiedades únicas y peculiares, permitió abrir campos de la ciencia y del conocimiento que antes no existían.

La población de Almadén se siente muy identificada y orgullosa del reconocimiento concedido por parte de EuChemS, tal y como resaltó la última ponente del día, Rosa del Carmen Rodríguez Martín-Doimeadios, investigadora originaria de Almadén, cuando recordó a los mineros y sus familias: “Con estas palabras queremos expresar nuestro agradecimiento a todas las familias y a todos los mineros que han hecho enormes esfuerzos y sacrificios, dejándose a menudo la salud y, a veces, la vida. Este reconocimiento también va dirigido a todas las personas implicadas en las minas a lo largo de los siglos: los mineros y sus familias”.

El programa oficial del evento concluyó con el descubrimiento de la placa conmemorativa de *EuChemS Historical Landmark* por parte de Floris Rutjes. “Estoy seguro de que el reconocimiento de la importancia histórica del yacimiento de Almadén por parte de EuChemS dará un impulso a los esfuerzos actuales por dar a conocer las minas entre el público en general, y mejorar las posibilidades para el turismo, pero también para fines educativos. Por otra parte, nosotros, como EuChemS, también podemos estar orgullosos de que las mi-

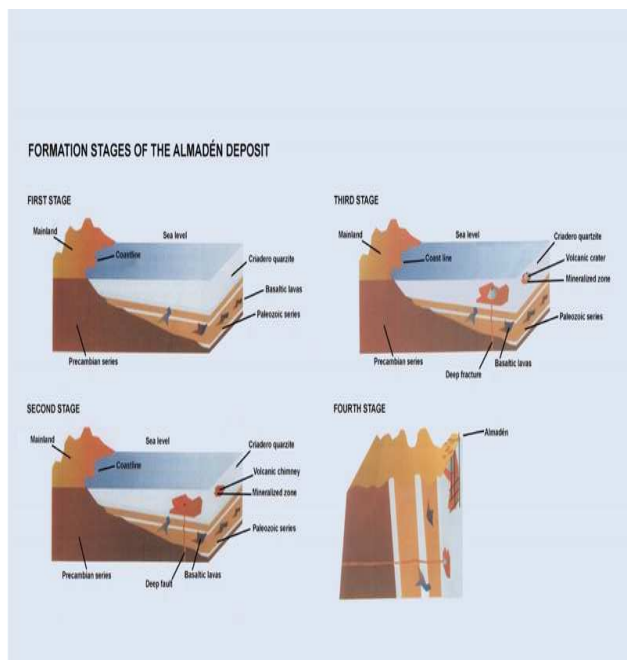


Figura 4. Fases de formación del yacimiento de Almadén.

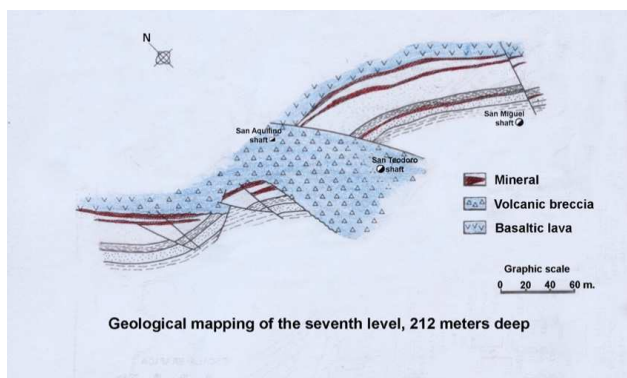


Figura 5. Plano geológico de la planta 7, situada a 212 metros de profundidad.

Hay que resaltar también que el mineral es más rico o tiene mayor ley, como se prefiera, en la proximidad de la chimenea volcánica por la que ascendió el mercurio al fondo marino, de modo que en algún sitio de la mina llegó a aparecer cinabrio puro (los mineros le llamaban cinabrio de labra porque algunos artesanos elaboraban figuras con él) como si fuera un sedimento más. En este yacimiento las paleocorrientes marinas han jugado una importante función en la distribución del mineral, de tal forma que se extiende más lejos del cráter en la dirección preferente de aquellas (Figura 6). Aunque la cuarcita de Criadero continúa lateralmente y en profundidad, el mineral va perdiendo ley poco a poco hasta desaparecer.

La mina de Almadén que se muestra en la Figura 7, se clausuró al comienzo del siglo XXI. Por entonces ya existía un interés creciente de las administraciones públicas, las universidades y muchas asociaciones por estudiar, catalogar, res-

taurar y difundir el patrimonio minero e industrial español. En Almadén se creó en 1999 la Fundación Almadén y durante diez años se realizó una intensa campaña de restauración de sus edificios y maquinaria, así como de sus labores subterráneas más antiguas (siglos XVI-XVIII).^[3]

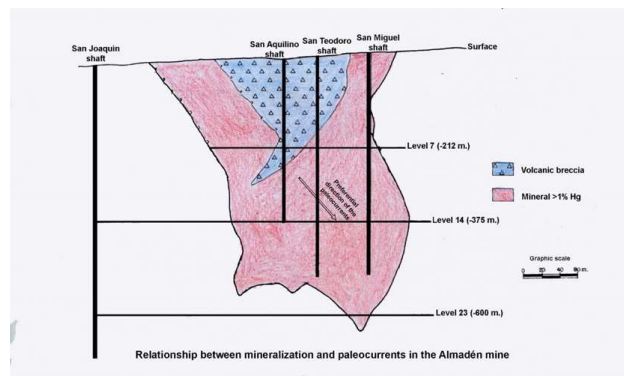


Figura 6. Relación entre las paleocorrientes y la mineralización en el yacimiento de Almadén.

En enero de 2008 se inauguraba el Parque Minero de Almadén y en junio de 2012, la UNESCO otorgaba a Almadén e Idria el nombramiento de ambas como Patrimonio Mundial del Mercurio, reconociendo así públicamente su importancia, su antigüedad y su grado de conservación. Las dos mayores minas de mercurio del mundo volvían así a unir su destino, como ya había ocurrido en varias ocasiones desde el XVII al XX.

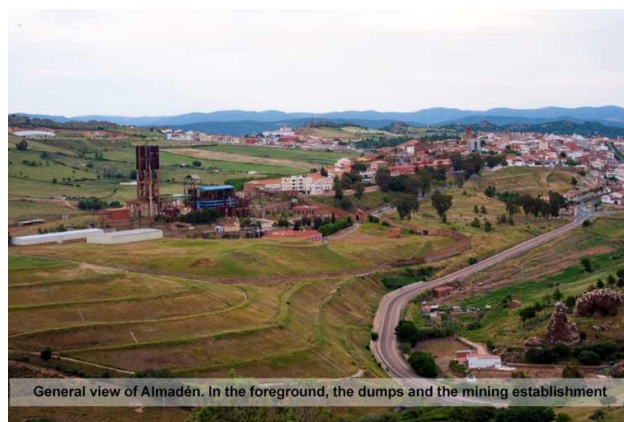


Figura 7. Vista general de Almadén. En primer término las escombreras y el establecimiento minero con los hornos metalúrgicos y los pozos.

El Parque Minero de Almadén merece sin duda una visita pausada para contemplar los diversos aspectos patrimoniales del conjunto histórico, pero además el viajero puede conocer más a fondo alguno de ellos, en el que se encuentre especialmente interesado. En nuestro caso, Almadén ofrece un recorrido superficial y subterráneo que permitirá al visitante comprender mejor la evolución geológica de esta región y la estructura y génesis del mayor yacimiento de mercurio conocido.

Usos y símbolos: el cinabrio en la antigüedad hispana

Mar Zarzalejos Prieto

Las aportaciones más interesantes sobre la historia del aprovechamiento antrópico del cinabrio surgen hace poco más de una década en el ámbito de la arqueometría, disciplina que aplica métodos físico-químicos al análisis de los restos arqueológicos. Los autores clásicos como Teofrasto (De Lap. 58) situaban el empleo más remoto del cinabrio en el siglo IV a.C., pero hoy sabemos que el mineral rojo atrajo la atención de los pobladores peninsulares desde el Neolítico (VI milenio a.C.). En estas coordenadas temporales se pueden citar hallazgos como los de Casa Montero (Madrid), Cova de L'Or (Beniarrés, Alicante), dolmen de Alberite (Villamartín, Cádiz), Cueva de los Murciélagos (Zuheros, Córdoba) o la mina de Gavá (Barcelona). La nómina de identificaciones incluye también varios yacimientos del Alentejo portugués, entre los que se encuentran Anta da Cabeçuda, Anta da Bola da Céra, Anta da Horta, Anta Grande Zambujeiro y Sobreira de Cima. La aparición del pigmento rojo en contextos megalíticos de cronología más avanzada, ya en el III milenio a.C., se multiplica y extiende a la Meseta Sur, con hallazgos tan destacados como los de las cuevas sepulcrales de Huecas o varias localizaciones en la Comunidad de Madrid como Humanejos (Parla), C° de las Yeseras (San Fernando de Henares), La Magdalena (Alcalá de Henares), Salmedina y Cuesta de la Reina (Ciempozuelos). Las tierras andaluzas muestran un lugar destacado en la nómina de hallazgos de cinabrio en contextos calcolíticos, ya durante el III milenio a.C., con ejemplos tan espectaculares como el Dolmen de Montelirio (Castilleja de Guzmán), donde hace uno 4800 años el pigmento se aplicó como una pátina roja sobre los cuerpos femeninos allí depositados y en los ortostatos que delimitan la cámara funeraria (Figura 8).



Figura 8. Reconstrucción del interior de la cámara grande del Dolmen de Montelirio (Castilleja de Guzmán, Sevilla) (Luciáñez, Cintos y García Sanjuan, 2019).

En el periodo Calcolítico los hallazgos de cinabrio en contexto arqueológico aumentan y se expanden por la mayor parte de las regiones peninsulares. Durante la Edad del Bronce, aparece también cinabrio en el ámbito de la

cultura argárica, siendo el yacimiento epónimo la primera estación peninsular donde se identificó el mineral por parte de los hermanos Siret a fines del siglo XIX. Estos y otros hallazgos han sido objeto de estudio pormenorizado a cargo de varios autores en una monografía colectiva de reciente publicación.^[4]

En buena parte de los casos mencionados, el cinabrio parece estar relacionado con usos o espacios de connotaciones simbólicas y/o rituales, siendo especialmente frecuente su asociación con prácticas funerarias. Para explicar su empleo en la esfera fúnebre se argumenta una posible función ritual vinculada al color rojo, por su asociación con la sangre, como un revitalizador del rostro del difunto; o por su analogía con la fertilidad femenina, que da origen a la vida. Pero también se esgrime un uso funcional, relacionado con las propiedades antisépticas del sulfuro de mercurio, por lo que pudo estar asociado a rudimentarias prácticas de embalsamamiento. Es posible que ambas líneas explicativas no fueran excluyentes entre sí, pero una premisa fundamental para valorar su papel durante varios milenios es su condición de mineral poco abundante, por lo que su valor intrínseco asciende en virtud de su "rareza" y se convierte en un indicador de prestigio social, apareciendo asociado con otros marcadores de estatus: oro, marfil, cuentas en materiales exógenos (ámbar, variscita) o cristal de roca.

Un tema esencial en la investigación es el de la identificación del origen geológico del cinabrio hallado en contextos arqueológicos mediante su caracterización isotópica, lo que ha permitido certificar la presencia de cinabrio de Almadén en radios de media y larga distancia.^[5]

El empleo del cinabrio durante la Protohistoria es menos conocido, pero se tiene constancia de su hallazgo en contextos de fines del siglo VIII a.C. en el yacimiento de La Bienvenida-Sisapo (Almodóvar del Campo, Ciudad Real) (Figura 9) y de su uso como pigmento en obras señeras de la cultura ibérica, como las damas de Elche y Baza o el monumento de Pozomoro (Chinchilla, Albacete). De enorme interés es la constatación del uso de la amalgama de mercurio para el dorado a fuego de piezas de orfebrería en el ámbito ibérico



Figura 9. Yacimiento de La Bienvenida (Almodóvar del Campo, Ciudad Real) (Equipo Sisapo).

y en el Noroeste peninsular, lo que ratificaría la referencia de Teofrasto sobre el temprano conocimiento de la amalgamación desde el siglo IV a.C.

La época romana representa una etapa con mayor luz literaria sobre la explotación del cinabrio hispano, en cuyo marco tuvo un papel protagonista la mencionada ciudad de Sisapo. Las referencias más directas se deben al naturalista Plinio, quien menciona expresamente que el cinabrio que abasteció a Roma fue el originario de las minas sisaponenses, que se corresponden con el distrito minero de Almadén. Las excavaciones realizadas en el yacimiento de La Bienvenida, en el área centro occidental del valle de Alcuña, sitúan la ciudad de Sisapo en este lugar y su nombre aparece en varios fragmentos epigráficos hallados en el yacimiento (Figura 10).

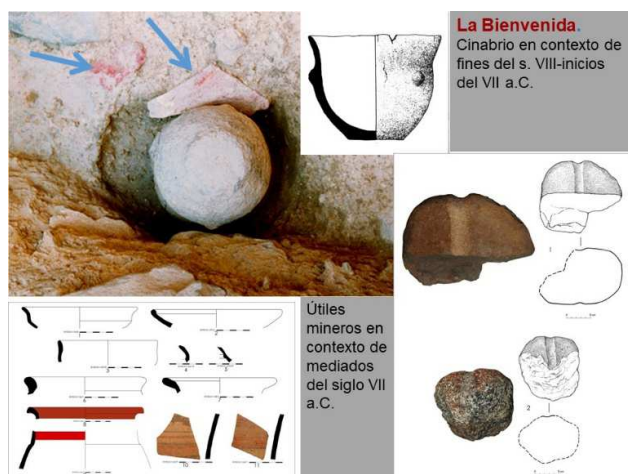


Figura 10. Contextos de aparición de cinabrio y útiles mineros en el yacimiento de La Bienvenida (Almodóvar del Campo, Ciudad Real) (Equipo Sisapo).

La ciudad fundada en tiempos tartésicos y con probada continuidad durante la etapa ibérica pasó al control de Roma a mediados del siglo II a.C. y fue en este momento cuando los conquistadores iniciaron la explotación a gran escala de los recursos mineros de la vertiente norte de S^o Morena, como demuestran los estudios sobre el poblamiento de la comarca.^[6]

Las fuentes escritas coinciden en destacar la condición de producto raro y precioso que tuvo el cinabrio en época romana, donde se empleó como el pigmento rojo más exótico y costoso de la pintura mural (*minium*), pues, según Plinio, su precio había de ser controlado por ley a 70 sestercios la libra para evitar su aumento excesivo y era adulterado para aumentar su rentabilidad. El cinabrio aplicado en la pintura mural romana también está siendo objeto de análisis de caracterización de isótopos de plomo (²⁰⁶Pb, ²⁰⁷Pb and ²⁰⁸Pb) y azufre (δ34S valor en ‰ VCDT) para determinar su origen geológico, permitiendo documentar el amplio radio de distribución del mineral de Almadén entre los siglos I a.C. y II d.C. Otro avance muy importante de la última década ha sido la verificación analítica del uso de la amalgamación, que ratifica las elocuentes citas de los autores grecolatinos sobre las propiedades del mercurio aplicado a la obtención de metales nobles como el oro o la plata. A este respecto, se

ha hallado mercurio en contextos de extracción de oro, como algunos yacimientos de Las Médulas (León), pero también en monedas. La metalurgia del mercurio en la Antigüedad ha dejado huella en el registro histórico de turberas y lagos, así como en restos paleoantropológicos.

Mercurio elemento químico y algo más. Protagonista de la ciencia, la técnica y la economía en la Edad Moderna

Manuel Castillos Martos

El mercurio, denominado azogue en la historiografía, comenzó a tener importancia social, económica y técnica en la Edad Moderna, sirvió de unión entre dos continentes y las minas de Almadén fueron su cordón umbilical. Teofrasto (300 a. de C.) obtuvo por primera vez mercurio triturando cinabrio (HgS) con vinagre en un mortero de latón, se considera esta la primera noticia de su obtención.^[7]

Mercurio en la ciencia de la Edad Media

Se sabe que en la Edad Media, especialmente en el siglo VII, empieza a adquirir la Ciencia importancia entre los árabes. Los conocimientos de las transformaciones de las sustancias, sus combinaciones y sus acciones recíprocas aprendidos de los egipcios y las ideas filosóficas heredadas de los griegos a través de la Escuela alejandrina, dieron a la alquimia en manos de los árabes, y después en toda Europa, una significación especial. En general, los alquimistas árabes recurrían a amalgamar metales libres para transformarlos en oro, y a la aleación con otros metales la denominaron *al-magma*.^[8]

Abu Musa Jabir ibn Hayyam "Geber" (720?-815?) en *El libro del mercurio*, se encuentra el origen de la doctrina *mercurio-azufre* y la *síntesis del cinabrio*. Al Razi "Rhazés" (865-925 ó 928 en *Libro del secreto de los secretos* menciona la amalgamación. Abu ibn Sina "Avicena" (980-1036) en *Libro del remedio* se muestra escéptico respecto a la transmutación de los metales. La palabra azogue deriva del nombre *zabaq*, arabizado del persa, y también con artículo, *az-zabaq*. Algunos consideran que procede de *záwuq*, una forma andalusí, y con artículo *az-záwuq*.^[9] Así como se sabe que Almadén es en árabe *al-maaden*, La Mina.

En el mundo cristiano, San Isidoro de Sevilla (560-637) en *Las Etimologías* describe la unión del azogue con distintos metales, Roger Bacon (1214-1294) admitió la doctrina mercurio-azufre, Alberto Magno (1199?-1280) refiere a la obtención de plata por azogue,^[10] y a su discípulo Tomás de Aquino (1225?-1274) se debe el nombre de amalgama. Entre los que consideraban importante el mercurio se encuentran Alfonso X (1221- 1284) que en *Libro del Tesoro* describe un procedimiento para obtener óxido de mercurio (HgO). Bartolomé Anglicus (1203-1272), Raimond Llull (1232-1315 o 1316) y Arnaldo de Vilanova (1238-1311) entre otros, tratan de la utilidad del mercurio. Sin olvidar a los alquimistas medievales que se interesaron por el mercurio y la amalgamación de la plata.

Minas de mercurio

Las minas principales que proporcionaron azogue a la metalurgia argentífera en la América Virreinal son las de Almadén y Huancavelica (Perú). Cuando estas no producían el azogue que necesitaban las haciendas de beneficio americanas, la Corona lo compró, entre 1612 y 1618, a las minas de Kwei-Chow (China), y en el siglo XVIII hizo con los Habsburgos la contrata "Conde Greppi, para comprar azogue de Idria.

Hornos para la obtención de mercurio del cinabrio y procesos de amalgamación

Los hornos utilizados para el beneficio del cinabrio (HgS) originaron transferencias administrativas y técnicas entre Almadén y Huancavelica, y entre esta y las minas de Chilapa en la Nueva España. Por ejemplo, los hornos de aludeles ideados, en 1633, por Lope Saavedra en Huancavelica, fueron introducidos en Almadén en 1646 por Juan Alonso

de Bustamante, de quien toma el nombre, y a Chilapa (en el actual Estado Guerrero, México), los llevó Gonzalo Suárez de San Martín, y en 1671 hizo la primera experiencia (Figura 11).^[11]

Procesos para la obtención de plata

Los Incas en el Perú obtenían la plata por **fundición en guayras**, (Figura 12), método utilizado también por los españoles,^[12] aunque tenía el inconveniente que solo era rentable con el mineral con alta ley en plata.



Figura 12. Inca con guayra

Este problema lo solucionó el proceso de **amalgamación en patio de Bartolomé de Medina**, al iniciar, el 29 de diciembre de 1555, en Pachuca (en el actual Estado Hidalgo, México) el proceso de amalgamación a gran escala con minerales argentíferos, clorargirita (AgCl) o argentita (Ag₂S) (Figura 13).^[13]

Durante el proceso se añadía *magistral* (hoy catalizador), que era generalmente un compuesto de hierro o de cobre.



Figura 13. Método de patio de Bartolomé de Medina (Maqueta realizada por Marco Hernández. Archivo Histórico y Museo de Minería, A.C. Pachuca, México)

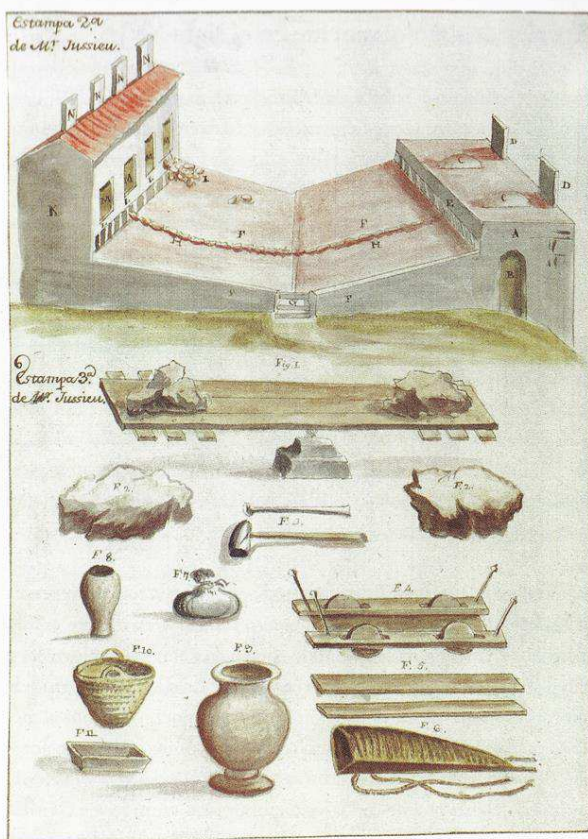


Imagen 6. Horno de aludeles y enseres para la destilación del mercurio utilizados en las minas de Almadén. 1778. Copia de José Antonio de Alzate y Ramírez del diseño original de Philippe Simonneau publicado por Antoine de Jussieu. Archivo General de Indias, Sevilla, MP-Ingenios, 281.

Figura 11. Horno de aludel

Hubo que esperar al siglo XIX para tener una interpretación acertada de las reacciones químicas involucradas, y en diversos años se han hecho experimentos para precisar las reacciones químicas del proceso de amalgamación.^[14] Del grupo de reacciones se desprende que no es un proceso sencillo, pero se ejecutaba con habilidad.

La historia de la ciencia y de la técnica demuestra que el progreso es el resultado de alteraciones o innovaciones consecutivas que consiguen de determinadas invenciones una utilidad científica y productiva. El método de amalgamación de Bartolomé de Medina es un ejemplo paradigmático.

El Método de Medina presentaba pérdida de azogue, y no podía aplicarse con igual éxito a todos los minerales argentíferos: en los denominados rebeldes quedaba bastante plata en los residuos y necesitaba mucho tiempo. Este importante parámetro dependía de la naturaleza del mineral y de su matriz, espesor de las lamas, situación geográfica -que condicionaba la altura sobre el nivel del mar de las haciendas de beneficio-, condiciones meteorológicas de los días que se beneficiaba.

Modificaciones al método de Medina, siglos XVII y XVIII

La amalgamación según la practicó Bartolomé de Medina tuvo cambios en la composición del magistral y en los recipientes donde se hacía el proceso, para acondicionarlo a la temperatura y cantidad de oxígeno del medio ambiente. Por ejemplo, en el siglo XVII Álvaro Alonso Barba introdujo el método de **cazo y cocimiento** en Potosí,^[15] empleando cazos de cobre puestos en hornos, con ello facilitaba el proceso donde la temperatura era menor y había mayor altitud que en Pachuca. (Figura 14).

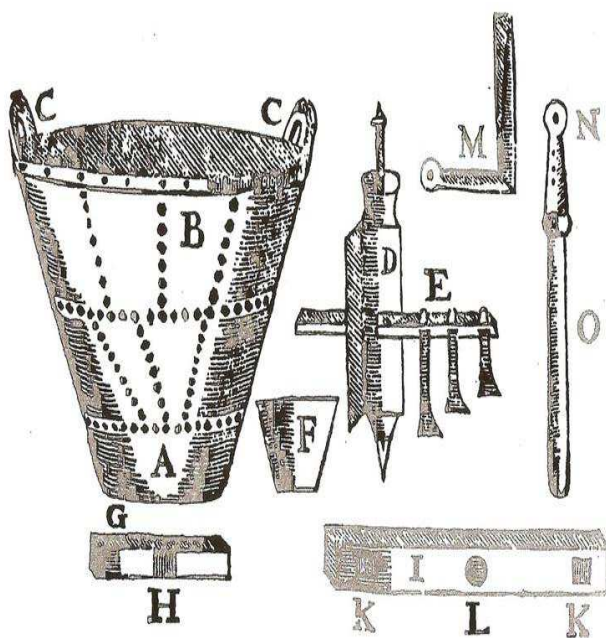


Figura 14. Cazo y molinetes de Álvaro Alonso Barba

En el siglo XVIII, este método lo modificó en Europa el barón Ignaz Edler von Born al emplear **barriles o toneles**, en cuyo interior giraban unas paletas que agitaban una mezcla de mena, agua, sal y mercurio (Figura 15) lo que permitía ahorrar tiempo y mercurio. Esta técnica trató de implantarse en América, pero los criollos la impidieron.

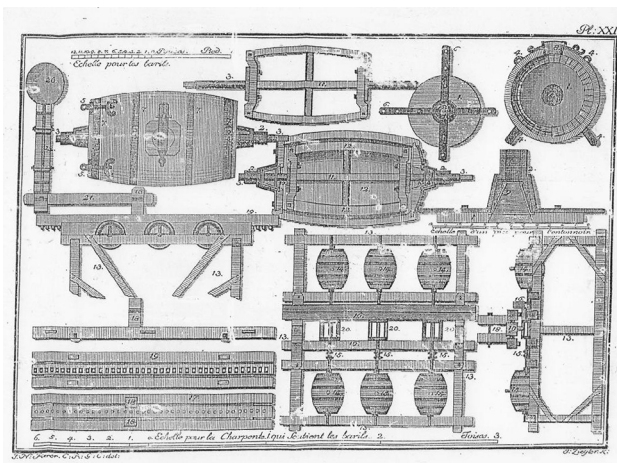


Figura 15. Toneles de Ignaz von Born

Cronistas

Las minas, la metalurgia y el azogue han estado presentes en las crónicas, en ellas hay novela, poesía y teogonía entrelazadas.¹

Expediciones mineralógicas

Ministros de Carlos III aplicaron medidas para fomentar la minería y metalurgia argentífera, y patrocinaron expediciones para la búsqueda de azogue. Una de las más importantes fue la dirigida por Rafael Andrés Helling, en 1778, para la Nueva España, la mayoría de los expedicionarios eran vecinos de Almadén, de familia con tradición minera.^[16]

Transporte de azogue a las haciendas de beneficio en los virreinos

Fueron varios los recipientes empleados para el transporte de azogue desde las minas de cinabrio a las haciendas de beneficio. Los habituales fueron baldreses, que, con pieles de

¹ Entre otras, Pedro de Cieza de León, *Crónica del Perú* (1553); Agustín de Zárate, *Historia del descubrimiento y conquista de la Provincia del Perú* (1555); Luis Capoche, *Relación general del asiento y Villa Imperial de Potosí y de las cosas más importantes de su gobierno* (1585); Baltasar Ramírez, *Descripción del Reyno de Piru* (1597); Baltasar de Obando (pseudónimo Reginaldo de Lizárraga), *Descripción breve del Perú* (1605); Garcilaso de la Vega, *Comentarios reales de los Incas* (1609); Bernabé Cobo, *Historia del Nuevo Mundo* (1653). La frase de Lidia Jorge, Premio FIL Guadalajara, 2020: *La literatura lava con lágrimas ardientes los ojos de la historia*, puede ser aplicada estas crónicas.

vaca, oveja, corderos o cabra, necesitaban de la habilidad del artesano. Ya en el último cuarto del siglo XVIII, tomó protagonismo las vasijas de hierro, construidas por Francisco Pizarro. En menor cantidad, en el siglo XVI, se usaron astas de vacas.

Casas de moneda

La plata necesitaba ser acuñada, por lo que proliferaron las Casas de la Moneda, en la península y en los virreinos de la Nueva España y el Perú, en Santo Domingo y en otras ciudades americanas.

Clasificaciones de elementos químicos

El mercurio ha estado presente en todas las clasificaciones de elementos químicos uno de los nueve elementos conocidos en la antigüedad, junto al oro, plata, cobre, hierro, plomo, estaño, azufre y carbono.

Uso típico y aplicaciones del mercurio

El mercurio se encuentra en diversos productos de uso cotidiano, entre otros, termómetro, esfigmómetro, manómetro, interruptor de mercurio e interruptores de inclinación de mercurio, en lámparas especiales, en tubos electrónicos, en bombas de difusión para la generación de alto vacío sin aceite, en algunos tipos de válvulas en bombas de vacío. Concluimos que minería y metalurgia forman parte de nuestra vida cotidiana.

Corolario - Andrés Manuel del Río en la independencia de México, 1821

Este año se conmemora el bicentenario de la independencia de México, a la que colaboró Andrés Manuel de Río Fernández, descubridor del vanadio. Fue pensionado en la Real Academia de minas de Almadén, donde se inscribió el 27 de junio de 1782 como alumno de la promoción de dicho año, con el número 8 de su relación general, percibiendo 12 reales de vellón diarios.^[17]

Del Río fue Diputado electo por la provincia de México, y designado por el Gobierno para asistir a las sesiones de las Cortes españolas, en las que se iba a decidir la independencia. Del Río tuvo señaladas intervenciones en algunas de las comisiones, según consta en el *Diario de las Sesiones de Cortes*, transcritas en el libro recién editado en México, por el Archivo Histórico y Museo de Minería, de Pachuca, Estado de Hidalgo.^[18]

El mercurio: ¿un elemento injustamente condenado?

Rosa C. Rodríguez Martín-Doimeadios

Con el mercurio ha existido a lo largo de la historia una relación de amor-odio en la que, actualmente, prevalece la parte más negativa, siendo un elemento "condenado" que

parece estamos dispuestos a desterrar de nuestras vidas. Este elemento presenta una doble cara, por un lado, cuenta con propiedades únicas que han permitido multitud de usos y aplicaciones y, por otro, tiene un carácter tóxico que el mal uso y el abuso han exacerbado.

Esas peculiares propiedades, como ser el único metal líquido a temperatura ambiente o su alta densidad $13,546 \text{ g/cm}^3$ (a $20 \text{ }^\circ\text{C}$), han permitido abrir campos de la ciencia y el conocimiento que no existían antes. No es intención enumerar y desarrollar todas sus contribuciones, pero seleccionaremos algunas que pueden servirnos como ejemplos representativos (Figura 16).



Figura 16. Algunos ejemplos de usos y aplicaciones del mercurio. Wikimedia commons

Así llegamos a Italia en el siglo XVII y al famoso barómetro de Torricelli, instrumento que mediante la variación de la altura de una columna de mercurio permitió medir la presión atmosférica y contribuyó a sentar las bases de lo que conocemos como ciencia atmosférica. Incluso dio lugar unas a unas nuevas unidades de medida de presión, los milímetros de mercurio (mmHg), que se siguen utilizando actualmente. De hecho, los valores de referencia (120 presión sistólica/80 presión diastólica) con los que estamos familiarizados para medir la tensión arterial se expresan en estas unidades. Esto es así porque los primeros instrumentos que se desarrollaron en Francia en el siglo XIX para medir la tensión, y que derivaron en otros que se han utilizado hasta muy recientemente, se basaban también en una columna de mercurio. Otra contribución relevante fue el desarrollo, en el siglo XVIII por Fahrenheit, del termómetro de mercurio. Pueden pareceros la medida de la tensión arterial y de la temperatura dos cuestiones triviales, pero contar con instrumentos exactos, precisos, no invasivos y que, además, fueran portátiles y asequibles para medir dos parámetros tan importantes fue sin duda un gran avance.

Las aportaciones de este elemento en el campo de la medicina no quedan en medidas de propiedades físicas, sino que también han contribuido a través de diferentes compuestos químicos, principalmente por su capacidad para eliminar todo tipo de patógenos. Un ejemplo de la vida cotidiana es la mercromina (disolución al 2% de merbromina, sal disódica de 2',7'-dibromo-5'-(hidroximercurio) fluoresceína),

con un alto poder desinfectante y que hasta los años 80 fue indispensable en el botiquín de cualquier hogar español. Otro compuesto de mercurio de gran interés es el timerosal (o tiomersal) (2-(etilmercurio)benzoato de sodio) que se ha utilizado como conservante para prevenir la contaminación por bacterias y hongos durante la fabricación y mantenimiento de las vacunas. Tiene un perfil de seguridad demostrado, aunque hoy en día ha dejado de utilizarse en España, entre otros países, porque las condiciones sanitarias han hecho que deje de ser necesario. Si hablamos de estrategias de salud pública, otra fundamental es la potabilización de aguas y aquí este elemento también ha tenido un papel muy relevante. La cloración es el procedimiento más extendido en la desinfección de aguas de consumo y durante mucho tiempo la obtención de cloro se ha basado en el empleo de mercurio (proceso Castner-Kellner). Este ha sido el principal proceso para la producción de cloro hasta que recientemente ha sido sustituido por otras tecnologías.

Sin embargo, el mercurio también es altamente tóxico y la gran cantidad de aplicaciones desarrolladas, junto con el desconocimiento de ciertos procesos, han tenido consecuencias que han llevado a la situación actual en la que prevalece su cara menos amable. Las emisiones realizadas durante siglos por las actividades antropogénicas han alterado significativamente la cantidad en circulación y su ciclo medioambiental natural (Figura 17).

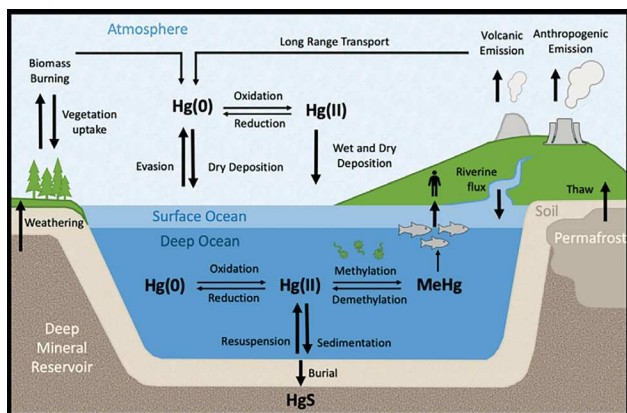


Figura 17. Ciclo medioambiental del mercurio. Wikimedia commons

Para hacernos una idea de la magnitud del problema nos podemos quedar con el dato aportado en el último informe de la "Evaluación Mundial del Mercurio" realizado en 2018 por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA, 2019),^[19] en el que se ha estimado que las actividades humanas pasadas y presentes han aumentado las concentraciones totales en la atmósfera en aproximadamente un 450% por encima de los niveles naturales. Estas emisiones antropogénicas empezaron en el siglo XVI con la amalgamación de oro y plata y han continuado y se han ido incrementando de manera casi ininterrumpida desde entonces (Figura 18).^[20]

Todo esto, con ser importante, podría no ser por sí mismo un problema tan grave si no se dieran otras desafortunadas

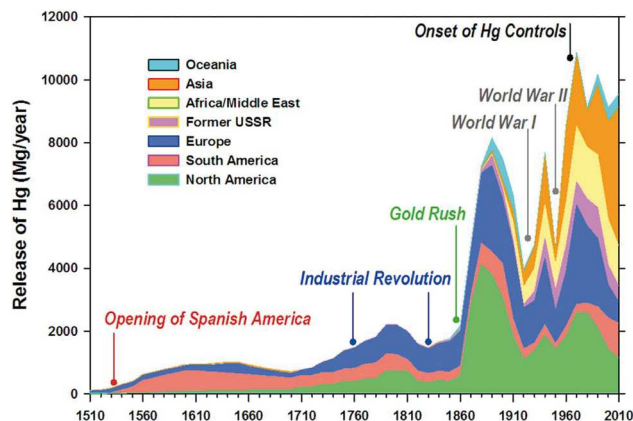


Figura 18. Emisiones de mercurio al medio ambiente en el período 1510-2010. Referencia [20]

circunstancias. Sin duda, un hito en la historia de este elemento fue el desastre ocurrido en la bahía de Minamata en Japón en los años cincuenta.^[21] En esta zona durante más de 20 años se registraron casos, que llegaron a ser varios miles, de personas con enfermedades neuronales y malformaciones graves en población que no desarrollaba actividades directamente relacionadas con mercurio. En los años 70, este desastre fue inmortalizado y puesto en conocimiento de la opinión pública por el fotógrafo estadounidense W. Eugene Smith para la revista *Life* y, recientemente, se ha llevado al cine en la película titulada "El fotógrafo de Minamata" (Andrew Levitas, 2020). Después de numerosos estudios se descubrió que la causa, de la ya conocida como enfermedad de Minamata, era el consumo de pescado contaminado con monometilmercurio, una potente neurotoxina que se forma por acción de microorganismos sobre sales mercúricas (CH_3Hg^+ , MeHg). En esta bahía realizaba vertidos una empresa que utilizaba mercurio en la producción de acetaldehído, en este proceso se generaba de manera accidental este compuesto, pero la principal causa de preocupación es que también se produce de manera natural en el medio ambiente a partir de sus formas inorgánicas (principalmente Hg^{2+}). Además, se dan una serie de desgraciadas coincidencias porque tiene una alta capacidad para bioacumularse y biomagnificarse principalmente en los ambientes acuáticos. Esto ha llevado al aumento de niveles de mercurio especialmente en grandes depredadores, como son el pez espada/emperador, atún rojo, lucio o algunas especies de tiburón, que acumulan niveles altos y suponen un riesgo para población especialmente sensible, principalmente mujeres embarazadas y niños menores de 14 años. La recomendación de las autoridades competentes (tales como la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) o la Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN)) es incluir el consumo de pescado dentro de una dieta sana y equilibrada por los grandes beneficios que aporta, pero con algunas limitaciones sobre especies para la población vulnerable.^[22]

Aunque todavía, en la mayor parte de los casos, los niveles son seguros si no se tomaran medidas una fuente muy importante de alimento podría verse comprometida a nivel global. Esto ha llevado a una acción coordinada internacio-

nal, a través del “Convenio de Minamata sobre el mercurio” (www.mercuryconvention.org) promovido por el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA).^[21]

Hasta la fecha ha sido ratificado por más de 130 países que se comprometen a reducir y, cuando sea posible, eliminar el uso del mercurio, a buscar e implementar alternativas para reducir las emisiones que se producen en otras actividades, como la quema de combustibles fósiles, y a desarrollar alternativas para retirar y almacenar el mercurio de manera segura.

Estas acciones son, con el conocimiento científico actual, sin duda necesarias pero la otra cara son las repercusiones negativas que tienen en sitios productores como son las minas de Almadén. Pero estas minas y este pueblo, hoy en día, siguen contribuyendo a la transmisión de la cultura y el conocimiento del mercurio a través de su Parque Minero y otros edificios incluidos por la UNESCO en su Patrimonio de la Humanidad, donde se mantiene viva parte de nuestra historia y memoria que no debemos olvidar, además de su carácter didáctico para la química. Además, se desarrollan acciones para retirar el mercurio de forma segura a través del Centro Tecnológico del Mercurio de las minas de Almadén o trabajos de investigación sobre el ciclo medioambiental de este elemento, donde todavía quedan muchas cuestiones abiertas, en la Escuela de Ingeniería Minera e Industrial de Almadén y en otros grupos de investigación de la UCLM donde se integra.

Conclusiones

Esperamos que después de este paseo por la historia del mercurio y descubrir las oportunidades que nos da Almadén, su comarca y sus minas, vengas a conocernos y visitarnos. Disfrutarás de un paisaje maravilloso, unas minas llenas de secretos por descubrir, como la ciencia que se esconde en sus rincones y que acompañó a su historia. Con este artículo queríamos también contar por qué este reconocimiento como Historical Landmark se otorgó por EuChemS y cómo se celebró. Este reconocimiento señala en el mapa de Europa a Almadén y sus minas por su interés a nivel turístico relacionados con la química.

Agradecimientos

Todos los autores queremos mencionar especialmente a los mineros y sus familias que han hecho la Historia que ahora se recoge en este artículo. Agradecer a EuChemS, F. Rutjes, P. Goya, N. Hrastelj and B. Van Tiggelen, por el reconocimiento y a Mayasa, destacando a su presidente E. Almansa, Ayuntamiento de Almadén, por ser piezas clave en mantener y cuidar el legado que nos dejaron. De igual forma a las instituciones y personas que impulsaron la obtención del reconocimiento y consiguieron que el evento fuera un éxito. Es imposible recoger aquí los nombres de todos, pero intentaremos mencionar las piezas clave, comenzando con la RSEQ, su presidente A. Echavarren y secretaria general S. Santamaria, ST CLM RSEQ, UCLM con su rector J. Garde a

la cabeza y la EIMIA, JCCM, diputación de CR, SQP, SEQA, entre otras...

Bibliografía

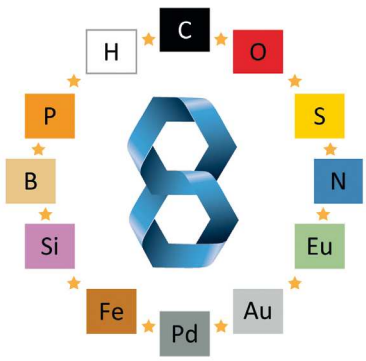
- [1] F. J. Carrasco Milara, *Las Minas de Almadén: Historia reciente* Fundación Almadén-Francisco Javier de Villegas y Minas de Almadén y Arrayanes, S. A., Ciudad Real **2009**.
- [2] A. Hernández Sobrino, in *Recursos minerales de España* (Eds: J. García Guinea, J. Martínez Frías), Colección Textos Universitarios, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Madrid **1992**, p. 759.
- [3] A. Hernández Sobrino, *Las minas de Almadén*, Minas de Almadén y Arrayanes, S. A., Madrid **1995**.
- [4] M. Zarzalejos, P. Hevia, L. Mansilla, *El “Oro Rojo” en la Antigüedad: perspectivas de investigación sobre los usos y aplicaciones del cinabrio entre la Prehistoria y el fin del Mundo Antiguo*, Universidad Nacional de Educación a Distancia, **2020**.
- [5] a) M. Hunt, V. Hurtado, in *VIII Congreso Ibérico de Arqueometría*, Teruel 2010, 123; b) M. A. Hunt Ortiz, S. Consuegra, P. Díaz del Río, V. Hurtado, I. Montero Ruiz, in *History of Research in Mineral Resources. Cuadernos del Museo Geominero* (Eds: J. E. Ortiz, O. Puche, I. Rábano, L. F. Mazadiego) **2011**, p. 3; c) J. Rodríguez, I. Montero-Ruiz, M. Hunt-Ortiz, E. García-Pavón, *Geoarchaeology* **2020**, 35, 871.
- [6] a) M. Zarzalejos, *De re metallica (Madrid): revista de la Sociedad Española para la Defensa del Patrimonio Geológico y Minero* **2011**, 17, 56; b) M. Zarzalejos, C. Fernández Ochoa, G. Esteban, P. Hevia, in *Minería y metalurgia antiguas: visiones y revisiones: homenaje a Claude Domergue* (Eds: A. Orejas Saco del Valle, C. Rico, C. Domergue), Casa de Velázquez Madrid **2012**, p. 129.
- [7] J. A. Babor, J. A. Ibarz, *Química General Moderna*, Editorial Marín S.A., Barcelona **1964**.
- [8] M. Bargalló, C. Prieto, *La amalgamación de los minerales de plata en hispanoamérica colonial*, Compañía Fundidora de Hierro y Acero de Monterrey, México **1969**.
- [9] *Agradezco la información facilitada de la palabra azogue a Rafael Valencia, Catedrático de Estudios Árabes e Islámicos de la Universidad de Sevilla. Fue Director de la Real Academia Sevillana de Buenas Letras*.
- [10] M. Castillo Martos, *Thémata - Revista de Filosofía* **1996**, 17, 91.
- [11] a) M. C. Martos, *Quipu* **1992**, 9, 7; b) R. Dobado González, in *IX Congreso Internacional de Historia de América*, Sevilla 1992.
- [12] E. Greve, in *Revista Chilena de Historia y Geografía*, Vol. 102 **1943**.
- [13] M. C. Martos, *Bartolomé de Medina y el siglo XVI*, Servicio de Publicaciones de la Universidad de Cantabria, **2006**.
- [14] a) F. T. Sonneschmidt, *Tratado de la amalgamación de Nueva España*, edición facsimilar de la de 1825, Ed. UNAM, México **1985**; b) D. A. Johnson, K. Whittle, *Journal of the Chemical Society, Dalton Transactions* **1999**, DOI: 10.1039/a905612b4239; c) M. M. Contreras, *El Minero mexicano Periódico dedicado a promover los adelantos de la industria en general y muy particularmente los de la minería y clases mineras*, **1874**.
- [15] Á. A. Barba, *Arte de los metales: en que se enseña el verdadero beneficio de los de oro, y plata por azogue, el modo de fundirlos*

todos, y como se han de refinar, y apartar unos de otros, Escuela Especial de Ingenieros de Minas, Sevilla **1995**.

- [16] M. C. Gavira Marquez, *Estudios de Historia Novohispana* **2015**, 52, 1.
- [17] J. M. López de Azcona, *Boletín geológico y minero* **1985**, 96, 82.
- [18] M. Castillo Martos, *Andrés Manuel del Río Fernández, madrileño-mexicano, descubridor del vanadio y colaborador de la independencia de México*, Ed. Archivo Histórico y Museo de Minería, A.C. Pachuca, México **2021**.
- [19] Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) 2019 "Evaluación mundial de mercurio 2018",

<https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources/report/global-mercury-assessment-2018-key-findings>, accessed: 01/11/2021.

- [20] D. G. Streets, H. M. Horowitz, Z. Lu, L. Levin, C. P. Thackray, E. M. Sunderland, *Environmental Research Letters* **2019**, 14.
- [21] Convenio de Minamata sobre el Mercurio, <https://www.mercuryconvention.org>, accessed: 01/11/2021.
- [22] a) E. F. S. A. (EFSA), in *EFSA Journal*, Vol. 13, 2015; b) Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN), http://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/seguridad_alimentaria/ampliacion/mercurio.htm, accessed: 01/11/2021.



EuChemS

Chemistry Congress

28 August to 1 September 2022 · LISBON.PT